



## **Kongeåens Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for første måleår af monitoringsprojektet**

**Svendsen, L.M.; Sortkjær, O.; Ovesen, N.B.; Skriver, J.; Larsen, S.E.; Pedersen, Per Bovbjerg; Rasmussen, Richard Skøtt; Dalsgaard, Anne Johanne Tang**

*Publication date:*  
2006

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Svendsen, L. M., Sortkjær, O., Ovesen, N. B., Skriver, J., Larsen, S. E., Pedersen, P. B., Rasmussen, R. S., & Dalsgaard, A. J. T. (2006). *Kongeåens Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for første måleår af monitoringsprojektet*. Danmarks Fiskeriundersøgelser. DFU-rapport No. 164-06  
[http://www.difres.dk/dk/publication/files/18122006\\$164-06,%20elektronisk\\_index.pdf](http://www.difres.dk/dk/publication/files/18122006$164-06,%20elektronisk_index.pdf)

---

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# **Kongeåens Dambrug**

## **- et modeldambrug under forsøgsordningen**

### **Statusrapport for 1. måleår af monitoringsprojektet**

Lars M. Svendsen, Danmarks Miljøundersøgelser  
Ole Sortkjær, Danmarks Miljøundersøgelser  
Niels Bering Ovesen, Danmarks Miljøundersøgelser  
Jens Skriver, Danmarks Miljøundersøgelser  
Søren Erik Larsen, Danmarks Miljøundersøgelser  
Per Bovbjerg Pedersen, Danmarks Fiskeriundersøgelser  
Richard Skøtt Rasmussen, Danmarks Fiskeriundersøgelser  
Anne Johanne Tang Dalsgaard, Danmarks Fiskeriundersøgelser

September 2006

Danmarks Fiskeriundersøgelser  
Afd. for Havøkologi og Akvakultur  
Kavalergaarden 6  
2920 Charlottenlund

ISBN: 87-7481-020-0

DFU-rapport nr. 164-06

## 0 Sammenfatning

De samlede miljømæssige fordele ved modeldambrug er mangetallige, som blandt andet oplistet vedrørende især uhindret faunapassage i Dambrugsudvalgets rapport:

Vandløbet	Dambruget
<p><b>Fordele:</b></p> <p>"Død å"-strækning fjernes</p> <p>Øget vandføring i dambrugen omløb</p> <p>Påvirkning af opstemning opstrøms reduceres, fjernes evt. helt</p> <p>Naturlige variationer i vandløbets vandføring opretholdes i omløbene</p> <p>Indtrængen af naturlig fauna i dambrugen reduceres</p> <p>Passageproblemer ved dambrugen opstemninger og vandindtag, herunder afgitring, indretning af faunapassage (både op- og nedstrøms), opstemning m.v. løses langt nemmere</p> <p>Udledning af medicin og hjælpestoffer reduceres</p> <p>Maksimumskoncentrationer af medicin og hjælpestoffer i vandløbene formindskes</p> <p>Fald i vandløbets iltindhold nedstrøms reduceres/undgås</p> <p><b>Ulemper:</b></p> <p>Ingen</p>	<p><b>Fordele:</b></p> <p>Stabile produktionsforhold</p> <p>Påvirkninger fra variationer i indløbsvandets kvalitet reduceres eller elimineres</p> <p>Øget effekt af renseforanstaltninger</p> <p>Ved brug af drænvand/grundvand kan opnås højere vandtemperaturer om vinteren og lavere om sommeren</p> <p>Bedre muligheder for styring af management og produktionsmiljøet</p> <p>Reduceret smittepres</p> <p>Reduceret behov for anvendelse af medicin og hjælpestoffer, herunder kalkning</p> <p>Bedre arbejdsmiljø</p> <p><b>Ulemper:</b></p> <p>Højere energiforbrug pr. kilo produceret fisk</p> <p>Øget udledning af CO<sub>2</sub></p> <p>Risiko for opbygning af skadelige ammoniakkoncentrationer</p> <p>Øget behov for overvågning og styring af driftsforholdene</p> <p>Øget behov for backup-systemer: strøm, iltforsyning, pumper m.v.</p>

I denne statusrapport for Kongeåens Dambrugs første driftsår som modeldambrug, beskrives de opnåede resultater fra monitoringsprojektets måle- og dokumentationsprogram, der har til formål at fremskaffe dokumentation for dambrugenens rensning og udledning af næringsstoffer og organisk stof. Konklusionerne er foreløbige og endelige konklusioner kan først drages når begge måleårs resultater er behandlet.

Sammenligninger af resultater for de 8 modeldambrug sker i en særlig rapport som udarbejdes primo 2007.

### Produktionsforhold

Kongeåens Dambrug har i perioden 27. april 2005 til 26. april 2006 anvendt 902,4 tons foder i dambrugets tre produktionsanlæg med en beregnet produktion på 1078,5 tons fisk til følge. Dette giver en samlet foderkvotient (alene baseret på tal i produktionsanlæggene) på 0,837.

På trods af almindelige indkøringsvanskeligheder, tillæring til ny produktionsform, ny teknologi og nye problemstillinger, må selve driften af anlægget betegnes som succesfuldt i dette første driftsår.

### Vandforbrug

Kongeåens dambrug indtager nu vand alene fra dræn under dambruget og borerer placeret ved bl.a. plantelagunerne, hvorfor opstemning og spærringer i vandløbet ikke længere er nødvendigt. Hertil kommer, at vandforbruget i forbindelse med betydelig recirkulering (recirkuleringsgrad 95,7 %) er nedsat fra før 1781 l/s til nu 107 l/s (6 % af før). Til dette stærkt reducerede vandforbrug kommer et tab/udsivning på ca. 34 l/s til at kunne betyde mere (se senere).

### Rensegrader

Ved forarbejdet, i bekendtgørelse om modeldambrug m.v. blev der forudsat nogle rensegrader for organisk stof og næringsstoffer på modeldambrug. En sammenstilling af de i Bekendtgørelsen for modeldambrug forudsatte og de opnåede nettorensgrader i 1. måleår på Kongeåens dambrug ser således ud:

	Forventet	Opnået
<b>Organisk stof (BI<sub>5</sub>)</b>	75 %	93 %
<b>Total kvælstof (inkl. omsætning laguner)</b>	27 %	63 %
<b>Total Fosfor</b>	60 %	91 %

De ovennævnte rensegrader indeholder evt. nedsivning fra f.eks. plantelagunen, der kan reducere den reelle rensegrad for især opløst kvælstof og opløst fosfor, såfremt nedsivning ikke medregnes. Det ændrer dog ikke ved, at de opnåede rensegrader til fulde honorerer de forudsatte. Produktionsanlægget med dets slamkegler og biofiltre fjerner især ammonium, fosfor og organisk stof, mens plantelagunerne især fjerner totalkvælstof samt fosfor og organisk stof. Rensegraderne i plantelagunerne har været højere end dem, der blev fundet i tidligere forsøg på Døstrup Dambrug, der var en del af grundlaget for de forudsatte rensegrader.

Selvom der kan følge f.eks. ammonium, nitrat og opløst fosfor med nedsivningsvandet vil en del af dette enten blive genindvundet som indtagvand eller omsat/tilbageholdt i ådalens jorde, dvs. kun en andel af evt. nedsivende opløst stof når grundvand eller vandløb. Det har ikke været en del af projektets formål at undersøge dette.

### Specifik udledning

Ifølge Miljøstyrelsens opgørelse for ferskvandsdambrug udledtes der i 2003 3.098 t BI<sub>5</sub>, 1.119 t total-N og 90 t total-P ved en produktion på 29.434 t ørreder, svarende til gennemsnitlige specifikke udledninger som angivet i nedenstående tabel:

	Specifik udledning – netto (kg/t fisk produceret)		Kongeåen i % af /gennemsnit DK
	Gennemsnit	Kongeåens dambrug	
	Danmark	- 1. måleår	
Organisk stof	105,3	4,3	4 %
Total-N	38,0	10,9	29 %
Total-P	3,1	0,3	10 %

Som det fremgår er det markant reducerede specifikke udledninger, især for organisk stof og fosfor sammenlignet med gennemsnittet af danske ferskvandsdambrug.

### Overholdelse af udlederkrav jvnf. Ribe Amts miljøgodkendelse

I miljøgodkendelsen har Ribe amt opstillet en række kontrolparametre med tilhørende kravværdi.

Kontrol-parameter	Kravværdi i Miljøgodkendelse (mg l <sup>-1</sup> )	Udledning efter Bekendt. om modeldambrug (mg l <sup>-1</sup> )	Teoretiske kravværdier jf. Dambrugs- bekendtgørelsen (mg l <sup>-1</sup> )
<b>Susp. stof</b>	10	1,65	41
<b>NH<sub>4</sub></b>	1,0	4,23	5,4
<b>Total-N</b>	8,0	7,02	8,0
<b>Total-P</b>	0,7	0,282	0,7
<b>BI<sub>5</sub></b>	10	3,27	10

Kravværdierne kompenserer kun på nogle parametre (total-N, total-P og BI<sub>5</sub>) for reduktionen i vandforbrug, mens der på suspenderet stof og især på ammonium-N er stillet væsentligt skrapere krav. I den tredje kolonne er opgivet Kongeåens udledning beregnet efter Bekendtgørelsen, og det ses, at kravene for alle parametre på nær ammonium overholdes. Såfremt der kompenseres fuldt for reduktionen i vandforbrug (4. kolonne) overholdes ammonium-kravet netop. I forhold til miljøgodkendelsens krav om tilstandskontrol på koncentrationen i afledning fra dambruget er der en overskridelse af kontrolkravet på total kvælstof ca. 15 %.

### Fauna og faunaindex

Dansk Vandløbs Fauna Index (DVFI) er opgjort således:

	Kongeå, opstrøms	Kongeå, nedstrøms
Marts 2004	5	5
December 2004	6	5
Marts 2005	6	6
September 2005	7	7
September 2005	6	5
Februar 2006	6	7
Juni 2006	5	6

Ud fra analyse af de fundne bunddyrsarter noteres en forbedring nedstrøms sammenlignet med efteråret 2004, dvs. før ombygning til modeldambrug.

## **Diskussion og primære udeståender**

Der er tale om resultater fra 1. måleår og der er behov for resultater fra 2. måleår før der kan drages endelig konklusioner. Alligevel ser de opnåede rensegrader og den resulterende, meget lave specifikke udledning generelt meget lovende ud og har været bedre end forudsat. For ammonium (og dermed også total-N) synes der dog at være behov for en forstærket indsats, således at rensningen også på denne parameter kan forbedres. Det ser således ud til, at rensning for kvælstof kan blive afgørende for at kunne opnå øget foderforbrug.

En større del af den stofmængde, der føres over i slambassinerne fra produktionsanlæggets slamkegler og biofiltre transporteres igen med klaringsvandet til plantelagunerne. Det vil være hensigtsmæssigt at øge stoffjernelsen i slambassinerne.

Vandtabet i plantelagunerne kan påvirke beregningen af nogle af rensegraderne, afhængig af, i hvilken grad opløste stoffer som ammonium/nitrat, ortho-fosfat samt eventuelt opløst organisk stof passerer hele vejen sammen med vandet, og også af hvorvidt det, i givet fald, når frem til vandløbet og i hvilke mængder.

# 1 Indledning

Som et af resultaterne fra det af fødevareministeriet nedsatte dambrugsudvalg (Udvalget vedr. dambrugserhvervets udviklingsmuligheder) blev der i dette udvalgs rapport, marts 2002 (*Dambrugsudvalget, 2002*), peget på muligheden af etablering af mere ensartede type-dambrug eller såkaldte modeldambrug.

Det ensartede koncept i modeldambrugene skulle muliggøre, at dokumentation samt viden og erfaring indhentet herpå, kunne finde anvendelse på andre modeldambrug af samme type, således at såvel drift som sagsbehandling, tilladelser m.v. kunne smidiggøres.

I såvel sideløbende som efterfølgende arbejder (eks.: Pedersen P.B. et al. 2003; Svendsen, L.M. & Pedersen, P.B.; 2004) samt notater og Bekendtgørelser (*Bekendtgørelse om modeldambrug, 2002* og *Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om modeldambrug, 2004*) er de nærmere specifikationer og krav til modeldambrug blevet defineret og fastlagt.

Tre typer modeldambrug er beskrevet (type 1, 2 og 3), hvor der for type 2 og 3 er åbnet for en deltagelse under en 2-årig forsøgsordning, i hvilken periode monitoring af den resulterende miljømæssige effekt skulle måles.

Ingen dambrug har ønsket ombygning til type 2 under forsøgsordningen, mens 8 dambrug af type 3 blev udvalgt til deltagelse i denne. Kongeåens Dambrug er en af disse.

Det skal understreges, at listen over miljømæssige fordele ved modeldambrugsdrift er lang, som opgjort i Dambrugsudvalgets rapport jvf. nedenstående tabel.

Disse miljømæssige fordele opnås under alle omstændigheder ved etablering af modeldambrug. Formålet med monitoringsprojektet er således alene at udvikle og gennemføre et specificeret måleprogram for modeldambrug, baseret på kravene om målinger i Miljøministeriets "*Bekendtgørelse om modeldambrug (2002)*" og "*Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om modeldambrug (2004)*") for derigennem at fremskaffe den fornødne dokumentation for dambrugenens rensning samlet og for de enkelte renseforanstaltninger og for udledning af næringsstoffer og organisk stof herunder for overholdelse af udlederkravene. Ifølge bekendtgørelse skal DMU og DFU opstille et måleprogram, der skal tilvejebringe den omtale dokumentation.

De 8 modeldambrug monitoreres derfor løbende af DMU og DFU over en 2-årig driftsperiode. På nogle dambrug måles der over alle de forskellige dele af dambruget, de såkaldte intensivt monitorerede dambrug som Kongeåens Dambrug hører til. Dette arbejde er blevet udført på baggrund af bevilling fra Fødevareministeriets Direktorat for FødevareErhverv via FIUF- midler, og er således støttet med 50 % fra den Danske Stat og 50 % fra EU. Der takkes hermed for den tildelte bevilling.

<b>Vandløbet</b>	<b>Dambruget</b>
<p><b>Fordele:</b></p> <p>"Død å"-strækning fjernes</p> <p>Øget vandføring i dambrugen omløb</p> <p>Påvirkning af opstemning opstrøms reduceres, fjernes evt. helt</p> <p>Naturlige variationer i vandløbs vandføring opretholdes i omløbene</p> <p>Indtrængen af naturlig fauna i dambrugen reduceres</p> <p>Passageproblemer ved dambrugen opstemninger og vandindtag, herunder afgitring, indretning af faunapassage (både op- og nedstrøms), opstemning m.v. løses langt nemmere</p> <p>Udledning af medicin og hjælpestoffer reduceres</p> <p>Maksimumskoncentrationer af medicin og hjælpestoffer i vandløbene formindskes</p> <p>Fald i vandløbs iltindhold nedstrøms reduceres/undgås</p> <p><b>Ulemper:</b></p> <p>Ingen</p>	<p><b>Fordele:</b></p> <p>Stabile produktionsforhold</p> <p>Påvirkninger fra variationer i indløbsvandets kvalitet reduceres eller elimineres</p> <p>Øget effekt af renseforanstaltninger</p> <p>Ved brug af drænvand/grundvand kan opnås højere vandtemperaturer om vinteren og lavere om sommeren</p> <p>Bedre muligheder for styring af management og produktionsmiljøet</p> <p>Reduceret smittepres</p> <p>Reduceret behov for anvendelse af medicin og hjælpestoffer, herunder kalkning</p> <p>Bedre arbejdsmiljø</p> <p><b>Ulemper:</b></p> <p>Højere energiforbrug pr. kilo produceret fisk</p> <p>Øget udledning af CO<sub>2</sub></p> <p>Risiko for opbygning af skadelige ammoniakkoncentrationer</p> <p>Øget behov for overvågning og styring af driftsforholdene</p> <p>Øget behov for backup-systemer: strøm, iltforsyning, pumper m.v.</p>

Dokumentations- og monitoringsprojekt følges af en følgegruppe bestående af:

Niels Axel Nielsen, Fmd., direktør DFU

Torben Moth Iversen, vicedirektør DMU

Knud Larsen, Fødevareministeriet

Gitte Larsen, Skov- og Naturstyrelsen

Lars Christensen Clink, Direktoratet for FødevareErhverv

Jens Ole Frier, Ålborg Universitet

Jacob Larsen, Ringkøbing Amt

Henning Christiansen, Ribe Amt

Lisbeth Jess Plesner, Dansk Akvakultur

Helge A. Thomsen, Danmarks Fiskeriundersøgelser

samt Per Bovbjerg Pedersen, Danmarks Fiskeriundersøgelser og Lars M. Svendsen, Danmarks Miljøundersøgelser



Det er i følgegruppen blevet besluttet, at publiceringen af det første måleårs resultater på det enkelte dambrug sker af to omgange, h.h.v. i september (tre statusrapporter) og i december 2006 (fem statusrapporter).

Primo 2007 udføres en samlerapport, med en samlet status over 1. års drift på de 8 modeldambrug, heri vil indgå nogle sammenligninger på tværs af dambrugene. Nærværende statusrapport indeholder derimod alene målinger for det pågældende dambrug.

Sluttelig skal der lyde en stor tak til alle andre involverede personer, institutioner m.v. som på hver sin vis har bidraget i det store arbejde. Specifikt takkes dambrugsejer Knud Kongsted og Christina Kongsted samt teknisk personale ved DMU: Uffe Mensberg, Henrik Stenholt, Ane Kjeldgaard, Zdenek Gavor og Carsten Nielsen og ved DFU: Tommy Nielsen, Peter Faber, Ole Madvig Larsen, Jesper Knudsen, Milan Pavlovic og Erik Poulsen.

## 2 Beskrivelse af dambruget

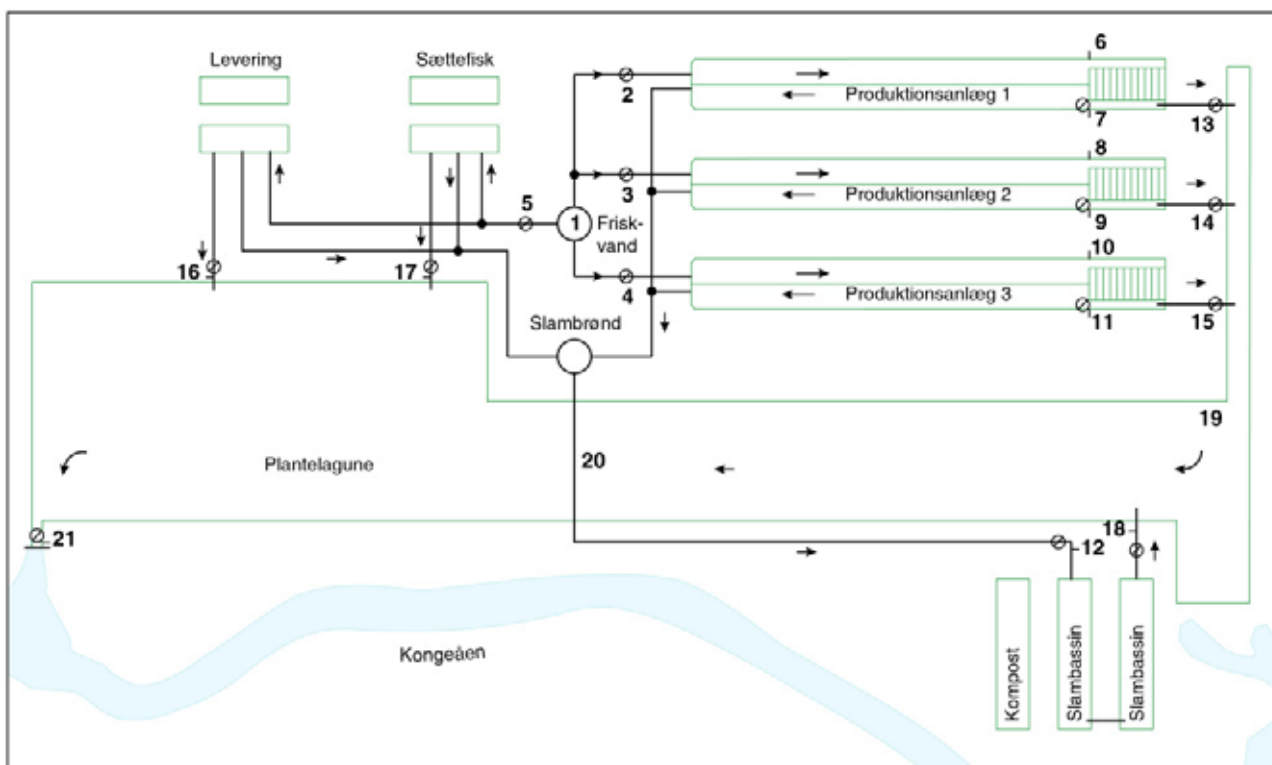
### 2.1 Indretning

Kongeåens Dambrug er beliggende ved Kongeåen i det sydlige Jylland (Kongeåvej 24, Foldingbro, 6650 Brørup). Kongeåen har et samlet opland på ca. 450 km<sup>2</sup>, og ved dambruget er medianminimumsvandføringen af amtet angivet til 1781 l/s (*Ribe Amt, 2004*).

Dambruget er indrettet som et modeldambrug type III (*Pedersen et. al., 2003*).

Dambruget består af 3 ens opbyggede produktionsenheder, der hver er underopdelt i 12 sektioner. I hver enhed ledes det recirkulerede vand igennem et biofilter, der er opdelt i 11 sektioner. Derudover er der sættefiskanlæg og levér-damme. Figur 1 er en principskitse af dambrugets opbygning med angivelse af vandflow. Vandet cirkulerer i produktionsenhederne ved at den beluftning som tilfører ilt til vandet også løfter det nogle centimeter. Beluftningen sker opstrøms i de 12 sektioner i ca. 6 m dybe brønde. Slam opsamles i pyramideformede slamkegler i bunden af anlæggene og pumpes sammen med skyllevand fra filtrene op i 2 slam-bassiner. Der står slamkegler i hele bredden nedstrøms hver sektion. Afløbsvand fra anlæggene og klaret vand fra slambassinerne ledes til en plantelagune hvorfra det løber i åen. Plantelagunen består delvist af nogle af de oprindeligt 59 jorddamme og fældningsbassiner samt dele af tidligere føde- og bagkanal.

Hver produktionsenhed er 150 meter lang og 12 meter bred, med en vanddybde på ca. 1,5 meter. Plantelagunen har et areal på 14.800 m<sup>2</sup> med en middeldybde på 0,9 m. Totalt har dambruget et vandvolumen på 22.800 m<sup>3</sup>, og med et vandindtag på gennemsnitligt 107 l/sek. i det første måleår, giver det en opholdstid på 59 timer. Opholdstiden for produktionsanlæggene inkl. sættefisk og levérdamme er på ca. 24 timer mod en forudsat minimumsopholdstid på 18,5 timer i produktionsanlægget for modeldambrug type III (*Bekendtgørelse om modeldambrug, 2002*).



**Figur 1** Kongeåens Dambrug, opbygning og vandflow. Nr. angiver målesteder som listet i tabel 1.

## 2.2 Måleprogram og måleperiode

Efter en kort indkøringsfase startede måleprogrammet på Kongeåens Dambrug som en del af forsøgsordningen officielt den 27. april 2005. Første måleår er derfor fra 27. april 2005 til 26. april 2006 begge dage inklusive.

I første måleår har der kontinuert (hvert 10. minut) været målt vandmængde, vandhastighed, vandstand, nedbør, ilt, temperatur og pH ved en eller flere målepunkter på dambruget (tabel 1). De instrumenter, som måler kontinuert er typisk tilsluttet en datalogger, hvorfra data overføres til en PC som er placeret på dambruget. Data overføres via internettet fra PC'en til DFU og lægges ind i en fælles database som DFU og DMU anvender i projektet. Vandmængder måles i de fleste målepunkter med en elektronisk måler, et såkaldt vandur. I udløbet er der først målt med vandur, siden er etableret i overfaldsbygværk med rektangulært udløb, der kalibreres med vingemålinger. Vandstand måles dels med tryktransducer, i slambassinerne med en infarød måler. Vandhastigheden i produktionsenhederne måles med dobbler-sensor I *Svendsen & Bovbjerg (2004)* findes flere informationer og baggrund og krav til måleprogram og en række tekniske detaljer. Der vil endvidere i den første samlede statusrapport over første måleår blive gjort rede for måleprincipper og hvilke konkrete instrumenter, der er anvendt.

Nr.	Sted på dambruget	Målevariabel
1	Vandindtag, samlebrønd	K, S
2	Indløb produktionsanlæg 1	F
3	Indløb produktionsanlæg 2	F
4	Indløb produktionsanlæg 3	F
5	Indløb sættefisk og levérdamme	F
6	Opstrøms biofilter produktionsanlæg 1	K, S
7	Nedstrøms biofilter produktionsanlæg 1	K, H, V, S
8	Opstrøms biofilter produktionsanlæg 2	K, S
9	Nedstrøms biofilter produktionsanlæg 2	K, H, V, S
10	Opstrøms biofilter produktionsanlæg 3	K, S
11	Nedstrøms biofilter produktionsanlæg 3	K, H, V, S
12	Indløb slambassin	K, F
13	Udløb produktionsanlæg 1	F
14	Udløb produktionsanlæg 2	F
15	Udløb produktionsanlæg 3	F
16	Udløb levérdamme	K, F, S
17	Udløb Sættefisk	K, F, S
18	Udløb klaret slamvand	K, F, V
19	Plantelagune, øvre del	S
20	Plantelagune, midt	S
21	Udløb plantelagune/dambrug	K, H, V, S N

**Tabel 1.** Oversigt over målepunkter på Kongeåens Dambrug. Tallene til højere refererer til det konkrete målepunkt på figur 1. Der anvendt følgende forkortelser: K: Prøvetagning for kemiske analyser. F: Vandmængde. H = vandhastighed; V = vandstand og S: Ilt, pH og temperatur.

Vandkemiske prøver er for indtagsvand målt som en punktprøve (øjebliksprøve) ca. 1 gang pr. måned (hver 14. dag i begyndelsen) eller i alt 16 gange i perioden. Vandkemiske prøver fra afløb, til og fra de tre produktionsenheder (kaldet produktionsanlæg 1, 2 og 3), afløb levérdam og afløb sættefiskanlæg og fra slambassiner udtages hver 14. dag med en ISCO-glacier vandprøvetager. En prøve består af en puljet delprøve over et døgn, hvor der i en stor flaske tages 100 ml. hvert kvarter, svarende til 9,6 l prøve på 24 timer pr. målested. Prøverne står koldt (4° C) og mørkt. Ved hvert målested er der målt i alt 27 gange i det første målear.

Herudover er der hver 14. dag taget vandkemiske prøver i forbindelse med tømning af slamkegler og returskylning af biofiltre både ift. sættefiskanlæg/levérdamme og de tre produktionsenheder. Her tages også puljede prøver men delprøver i 1 liter flasker der puljes. Afhængigt af hvor lang tid det tager at tømme slamkegler og returskylle biofiltre tages en række hyppige delprøver for at dække hele tidsperioden. Disse prøver tages med en ISCO 6712-1 vandprøvetager, hvori prøverne også står koldt (4° C) og mørkt.

De vandkemiske prøver er analyseret for en række kemiske variable fastlagt i *Bekendtgørelsen om modeldambrug (2002)*. Det fremgår af tabel 2, hvilke variable der analyseres for afhængigt af om der er tale om vandprøve taget i indtagsvandet (grundvand), slamvand (ved tømning af slamkegler, returskylning af biofiltre), afløb slambassin eller i produktionsanlæg og afløb fra dambruget. Analyserne er gennemført af akkrediteret laboratorium efter de standardanalysemetoder, der er foreskrevet ift. dambrug, herunder modificeret BI<sub>5</sub>.

	Program A	Program B	Program C
Parametre	Fuld pakke: Udløb fra dambrug, op- og nedstrøms biofilter, afløb sættefiskanlæg og leveredamme	Grundvand (indtagsvand)	Returskylning biofiltere, tømning slamkegler, afløb slambassiner
Suspenderet stof (SS)	x	(x)	x
Modificeret BI <sub>5</sub>	x	(x)	x
COD	x	(x)	x
Total fosfor (P)	x	[x]	x
Orthofosfat-P	x	x	x
Total kvælstof (N)	x	[x]	x
Nitrat-nitrit_N	x	x	x
Ammonium_N	x	(x)	x

**Tabel 2** De vandkemiske parametre analyseret for i 1. måleår på Kongeåens Dambrug. x i parentes angiver at disse parametre, efter at være målt nogle gange, kun måles 2-3 gange om året, hvis det viser sig at værdien konsekvent er under detektionsgrænsen. x i kantet parentes angiver at total kvælstof henholdsvis total fosfor ikke måles hver gang, hvis der ikke er signifikant forskel på totalen ift. de opløste fraktioner af kvælstof henholdsvis fosfor. BI<sub>5</sub> er et målt for let omsætteligt organisk stof (biologisk iltforbrug over 5 dage). COD er et mere omfattende mål for organisk stof, nemlig et mål for det kemiske iltbehov til at omsætte det organiske stof. Ammonium er primært NH<sub>4</sub>-N.

Ved de målepunkter, hvor der udtages vandkemiske prøver måles hver 14. dag ilt, temperatur og pH med håndholdt præcisionsinstrumenter, som også anvendes ved kalibrering af de kontinuerte måleinstrumenter for ilt, temperatur og pH.

## 2.3 Væsentlige vilkår

I henhold til dambrugets miljøgodkendelse af 20. april 2004 må der i forsøgsperioden anvendes 876,4 tons foder pr. år. Foderkvotienten må ikke overstige 0,9 kg foder pr. kg produceret fisk, og der må maksimalt udfodres 3500 kg foder pr. døgn.

Miljøgodkendelsen angiver det maksimalt tilladelige vandforbrug til 131 l. pr sek. Vandet skal primært indvindes fra dræn og boringer, og må kun i nødstilfælde indvindes fra Kongeåen.

Udlederkravene, der i forsøgsperioden er fastlagt som en koncentrationsforøgelse ift. til koncentrationen i dambrugets indløb, er:

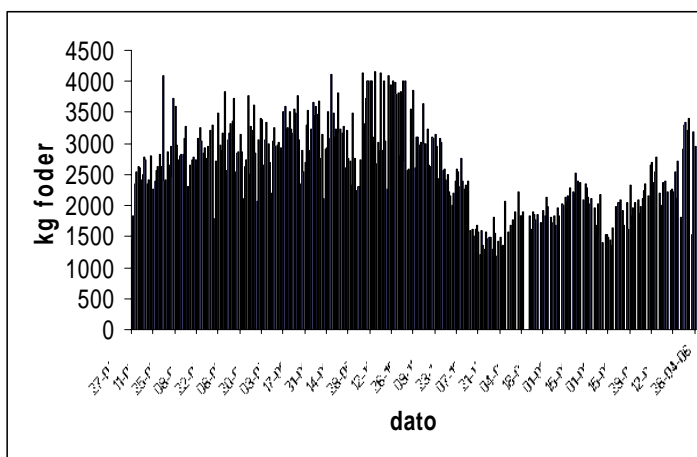
- Suspenderet stof: 10,0 mg/l
- BI<sub>5</sub>: 10,0 mg/l
- Total fosfor: 0,7 mg/l
- Ammonium-N (NH<sub>4</sub>-N): 1,0 mg/l
- Total kvælstof: 8,0 mg/l

Det fremgår ikke klart af miljøgodkendelsen hvor mange m<sup>2</sup> plantelagune fodertildelingen forudsætter.

### 3 Drift og produktion

#### 3.1 Foderforbrug, produktion og foderkvotient

På Kongeåens Dambrug er der i perioden 27. april 2005 til 26. april 2006 anvendt 902,4 tons foder i dambrugets tre produktionsanlæg (figur 2). På baggrund af oplyste start- og slutbestande, samt ind- og udfiskninger i perioden, er der beregnet en produktion på 1078,5 tons fisk inkl. døde fisk. Dette giver en samlet foderkvotient (foderforbrug (ton) / fiskeproduktion inkl. døde fisk (ton)) på 0,837. Denne værdi er baseret alene på tal i dambrugets produktionsanlæg, og vil derfor ofte være noget lavere end den foderkvotient, der udregnes på baggrund af den endelige leverance af fisk fra dambruget. Heri indgår nemlig typisk en kort periode hvor fiskene opholder sig i levérdam uden fodring. Endvidere leveres typisk en mindre procentdel ekstra fisk som kompensation for senere tab under transport og i aftagerleddet.



**Figur 2** Foderforbruget i Kongeåens Dambrugs produktionsanlæg i første måleår.

I tabel 2 er angivet hvilke fodertyper og -mængder i dambrugets produktionsanlæg, der har været anvendt i Kongeåens Dambrug i det første måleår.

Fodertype	Forbrug (kg)
Aller Aqua 576 (3 og 4 mm)	825160
Aller Aqua Elips (3 mm)	47510
Aller Aqua 576-LT (2 mm)	22827
Dan-Ex 2844 (3 mm)	6870

**Tabel 3** Anvendte fodertyper på Kongeåens Dambrug det første måleår.

#### 3.2 Produktionsbidrag

Udregningen af bidrag af de forskellige stoffer fra fiskeproduktionen (produktionsbidrag) i de tre produktionsanlæg samt sættefiskanlæg er

foretaget som beskrevet i *Pedersen et al (2003)*. Der er udregnet produktionsbidrag for COD (total organisk stof), modificeret  $BI_5$  (letomsætteligt organisk stof), total-N (total kvælstof) og total-P (total fosfor) (se tabel kapitel 8). Endvidere er bidraget af opløst kvælstof som udskilles over fiskenes gæller (hovedsageligt som  $NH_4^+-N$ ) blevet udregnet. Bidraget svarer til restleddet af kvælstof efter fradrag af den mængde kvælstof der indbygges i fisken henholdsvis udskilles som fækalier i forhold til den totalt indtagne mængde kvælstof.

Udregningen af produktionsbidraget er sket på dagsbasis i hver af dambrugets 12 sektioner i hvert af de tre produktionsanlæg, og bidragene er herefter summerede. Udover de konkrete fodermængder er foderets kemiske sammensætning inddraget i udregningerne. Kemisk analyse er foretaget på næsten alle foderleveringer (batches), men hvor disse værdier ikke foreligger, er der anvendt gennemsnitstal for de allerede analyserede fodertyper. I få tilfælde, hvor der ikke er foretaget kemisk analyse på fodertypen pga. små leveringer, er der anvendt deklarerede værdier fra foderproducenterne.

I sættefiskeanlægget, som kun indgår sekundært i måleprogrammet, er produktionsbidraget beregnet efter et estimeret gennemsnit af foderkemien og et samlet estimat af foderforbruget over hele måleåret. I levérdam er der beregnet et produktionsbidrag af kvælstof på baggrund af generelle tal for stofomsætning hos fodertomme regnbueørreder. Der vurderes kun at være et marginalt bidrag af organisk stof (COD og  $BI_5$ ) fra levérdam, idet der ikke fodres, hvorfor det primært forventes udskilt som kuldioxid ( $CO_2$ ). Tilsvarende forventes kun et marginalt bidrag af fosfor fra levérdam, hvorfor bidraget af COD og  $BI_5$  og total fosfor fra levérdam er sat til 0.

På otte forskellige foderleverancer er der foretaget fordøjelighedsforsøg, dvs. det er i kontrollerede forsøg undersøgt hvor stor en del af det indtagne foder og specifikke fedt-, protein- og kulhydrat-indhold, der udskilles som fækalier. Disse værdier er indsat i beregningerne af produktionsbidrag for det relevante batch. Hvis batchet ikke er undersøgt mht. fordøjelighed er der anvendt gennemsnitstal for fodertypen. I enkelte tilfælde, f.eks. i forbindelse med leveringer af små foder mængder, er der anvendt estimerede værdier for fordøjelighed af foderet. Fordøjeligheden af træstof er i alle tilfælde sat til 0.

Foderkvotienten er så vidt muligt beregnet for den enkelte sektion. Dette er kun muligt, når en sektion tømmes fuldstændigt ved udfiskning. Værdien er indsat i udregningen af den konkrete sektionens produktionsbidrag. De beregnede foderkvotienter er blevet vægtet i forhold til det antal dage foderkvotienten er målt over, og de vægtede værdier er sammensat til et gennemsnit som er anvendt i de sektioner og perioder hvor det ikke har været muligt at beregne foderkvotienten.

Der er ikke foretaget målinger af foderspild på Kongeåens Dambrug, men der er til anskueliggørelse af foderspilds omfang på modeldambrug foretaget målinger heraf på Tvilho Dambrug. Disse konkrete målinger viste et så godt som ikke-eksisterende foderspild. Idet der dog af forskellige årsager må påregnes et mindre foderspild i perioder, er der i alle tilfælde indsat en værdi på 1 % for foderspild på Kongeåens Dambrug.

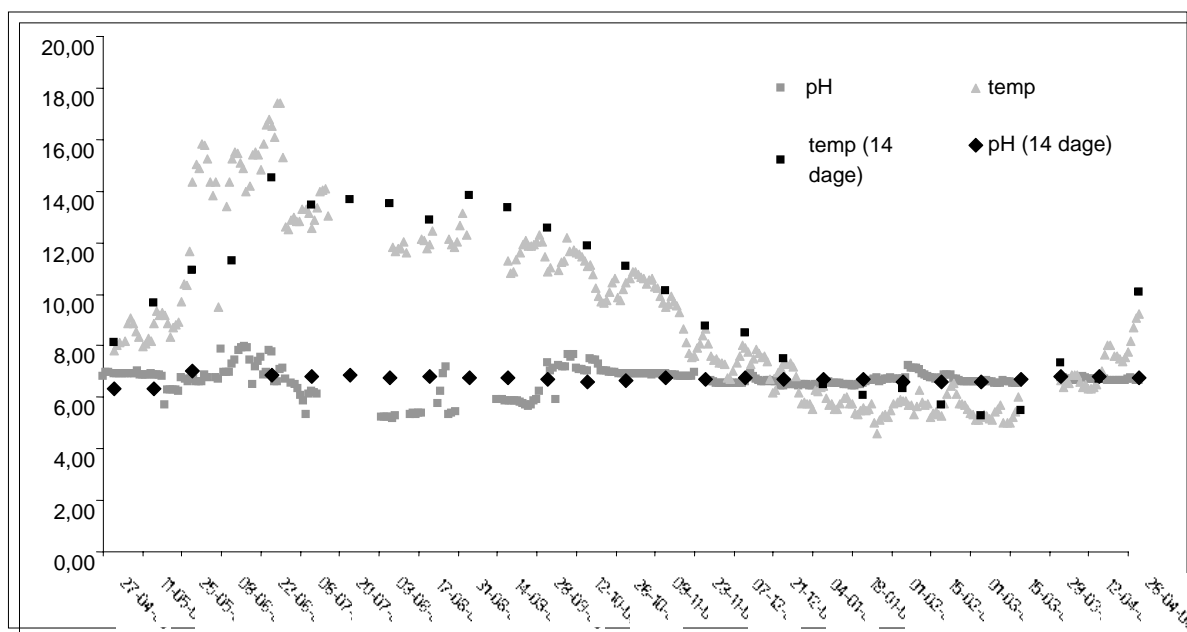


## 4 Temperatur, pH og ilt

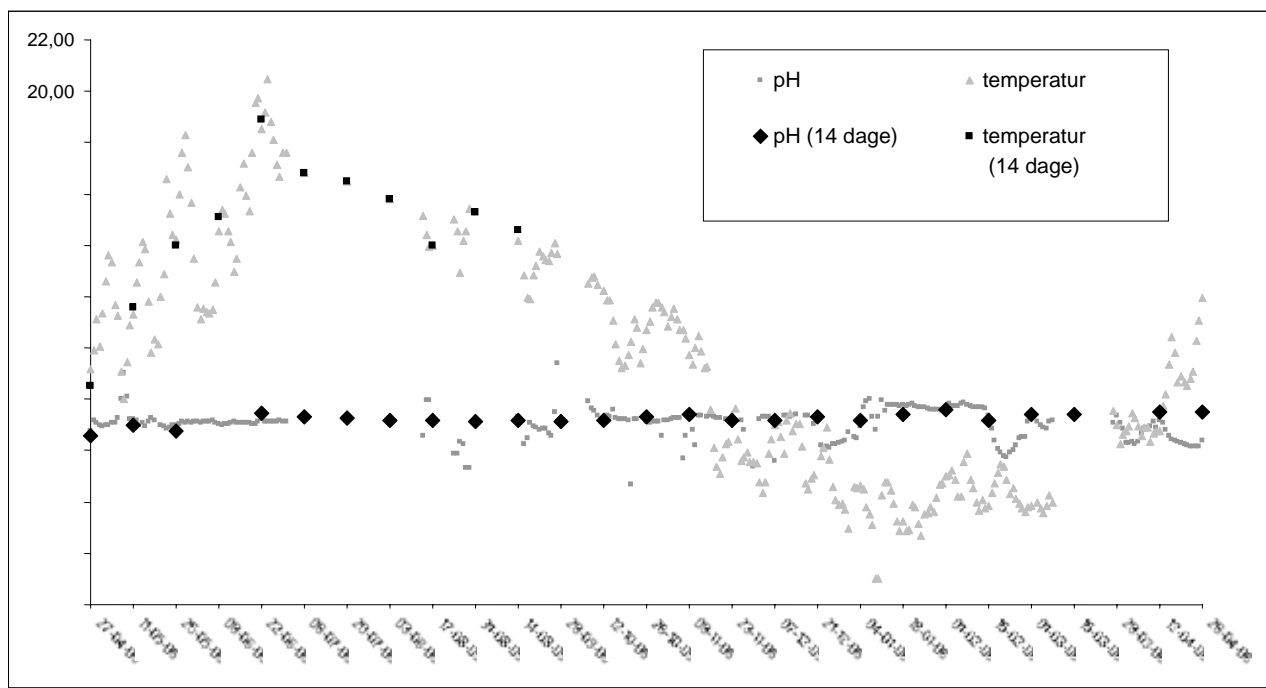
Der er hvert tiende minut foretaget elektroniske registreringer af temperatur, pH og ilt i produktionsanlægget, i plantelagunen samt i dambrugets udløb. Hertil kommer, at der i forbindelse med udtagning af vandprøver hver 14. dag manuelt måles temperatur, pH og ilt på dambruget. Dataene indsamles blandt andet med baggrund i lovmæssige krav og for bedre at kunne forklare de processer der foregår på dambruget.

Nogle af de kontinuerte registreringer af ilt, temperatur og pH har desværre vist sig ikke at fungere tilfredsstillende. Især logning af ilt har været problematisk, idet iltsonderne ikke er blevet rensset tilstrækkelig ofte, og da de er relativt følsomme overfor elektronisk støj fra andre kilder. På den baggrund er de kontinuerte iltmålinger ikke medtaget i figur 3 og 4 nedenfor.

I figur 3 er vist daglige gennemsnitsværdier for temperatur (°C) og pH i dambrugets produktionsanlæg nedstrøms biofilteret (udregnet som gennemsnit for de tre anlæg). Der er endvidere angivet 14-dages målinger for temperatur og pH. Tilsvarende værdier for dambrugets udløb er vist i figur 4. . Baseret på 14-dages målingerne har iltniveauet nedstrøms biofiltrene i de tre produktionsanlæg været mellem 4 og 12 mg/l og mellem 1 og 12 mg/l i udløbet fra plantelagunerne med de højeste værdier i vinterhalvåret .



**Figur 3** Gennemsnitsværdier af temperatur og pH i de tre produktionsenheder på Kongeåens Dambrug i det første måleår.



**Figur 4** Gennemsnitsværdier af temperatur og pH i afløbet fra Kongeåens Dambrug i det første måleår.

## 5 Vandflow i dambruget

### 5.1 Måling af vandflow

Vandflowet bliver registreret kontinuert (hvert 10. minut) 15 steder i dambruget jf. tabel 1. Registreringen sker på de 12 af målestederne ved hjælp af flowmålere (vandure), der måler med en usikkerhed på mindre end 1 %. En del af flowmålerne har haft kortere perioder, hvor data er gået tabt, enten på grund af kabelbrud, fejl i datakommunikationen eller i selve måleren, samt grundet at enkelte af disse har stået under vand. I de pågældende perioder er dataserierne rekonstrueret ved hjælp af interpolation og korrelation til de øvrige målere. Problemerne har medført en mindre forøgelse af usikkerheden, og en foreløbig vurdering er, at usikkerheden på flowdata er mellem 0 og 5 %. I udløbet fra plantelagunen (21) har der i de første måneder været problemer med dataudfald på flowmålerne og efterfølgende blev udløbet ombygget, så der i stedet for rør er etableret en rektangulær kanal med indbygget overfaldsbygværk. Her registreres nu vandstand og vandføringen bliver målt med vingeinstrument ca. en gang pr. måned. En foreløbig vurdering af usikkerheden på registrering af flow i udløbet er omkring 5 %.

Det recirkulerede flow i de 3 produktionsenheder bliver målt med doppler-sensorer, der måler middel-strømhastigheden kombineret med registrering af vandstanden. Til kalibrering af målingerne bliver flowet (vandføringen) målt med vingeinstrument ca. en gang pr. måned. Sensorerne er monteret i afløbskanalen fra biofiltret. Disse målinger har en usikkerhed på ca. 5 %.

I tabel 4 findes det gennemsnitlige flow i det første måleår. Det samlede vandindtag har i gennemsnit det første måleår været 107 l/s, hvilket er noget mindre end de tilladte 131 l/s. Indtaget sker fra drænen under dambruget og boringen placeret ved plantelagunerne.

Udløbsflow fra produktionsenhederne er lidt mindre end indløbsflow. Det skyldes, at der bliver ført vand væk i forbindelse med skylning af filtre og tømning af slamkegler, og at der bliver brugt vand ved udfiskning og sortering. For produktionsenhed 1 er der væsentligt mindre udløbsvand (op til ca. 30 %), hvilket formodentlig skyldes, at belufterbrøndene i produktionsenhed 1 i modsætning til de to andre produktionsenheder ikke er fuldstøbt, men er i kontakt med det sand og grus, ådalen består af. Det formodes derfor, at der her siver vand ud af produktionsenheden som i en vis grad bliver taget ind i drænvandsindtaget.

Det gennemsnitlige interne flow i de tre produktionsenheder på Kongeåens Dambrug er målt til 805 l/s.

Udløbet med påmonteret flowmåler til det klarede vand fra slambassinerne er lidt underdimensioneret i forhold til de faktiske mængde slamvand, der i perioder tilføres slambassinerne, således at der er risiko for overløb fra disse. Der er derfor etableret et overløbsrør, der lejlighedsvis, især i begyndelsen af måleperioden, har været i funktion. Flowmålinger-

ne er korrigeret for dette, men er behæftet med en forøget usikkerhed på mindst 5 %.

MålestedNavn på målested		Gennemsnitsflow l/s
1	Vandindtag samlebrønd	107
5	Indløb sættefisk og leveredamme	14
17	Udløb sættefisk	9,5
16	Udløb leveredamme	9,3
2	Indløb produktionsanlæg 1	33
7	NS biofilter, produktionsanlæg 1	844
13	Udløb produktionsanlæg 1	23
3	Indløb produktionsanlæg 2	30
9	NS biofilter, produktionsanlæg 2	770
14	Udløb produktionsanlæg 2	28
4	Indløb produktionsanlæg 3	30
11	NS biofilter, produktionsanlæg 3	800
15	Udløb produktionsanlæg 3	27
12	Slambrønd	4,3
18	Udløb klaret slam vand	4,8
-	Samlet tilløb til plantelagune (sum af 17,16,13,14,15,18)	101
21	Udløb plantelaguner	73

**Tabel 4** Vandflow.som gennemsnit ved de enkelte målesteder for 1. måleår i l/s.

## 5.2 Returskylning af biofiltre og tømning af slamkegler

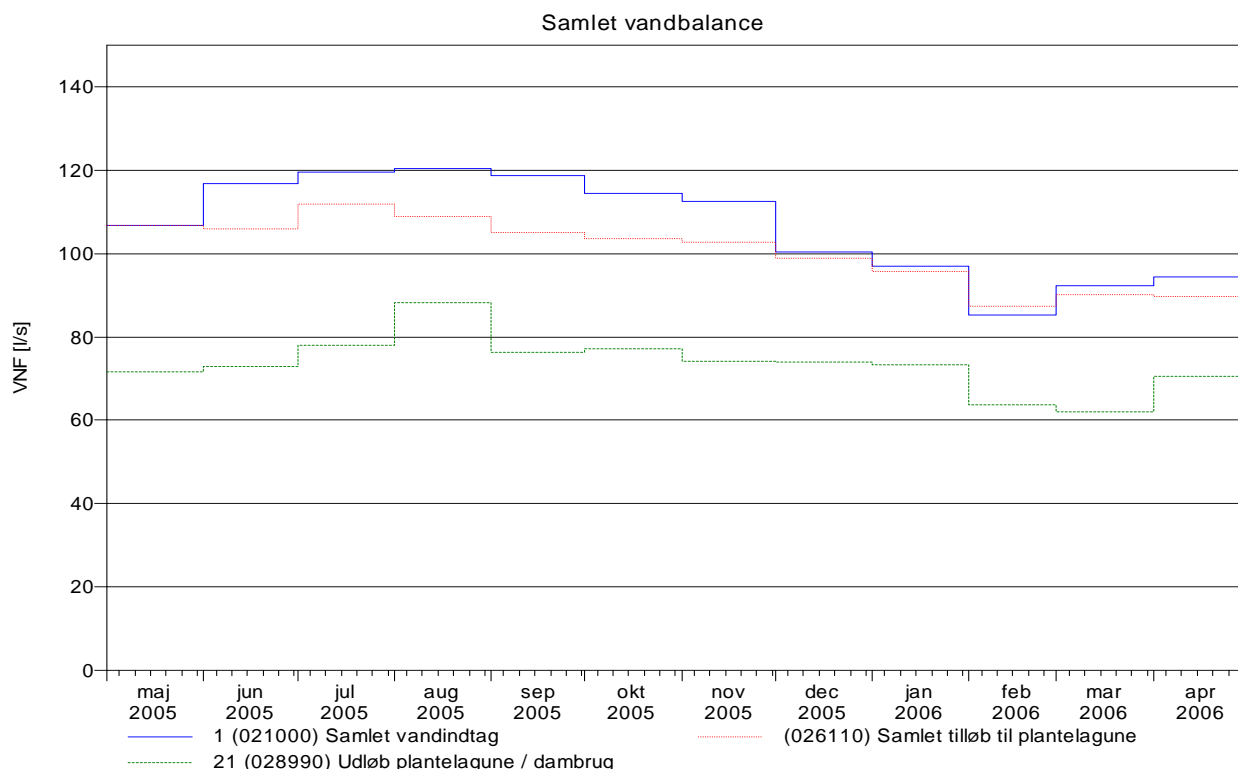
For at fjerne partikler bliver slamfælderne (kegler) i bunden af produktionsanlæggene tømt regelmæssigt, og tilsvarende bliver biofiltret returskyllet. Alt slam bliver pumpet til slambassinerne. Slamkeglerne bliver tømt hver 2. dag ved åbning i 10 – 15 minutter. Proceduren for returskylning af filtre er, at 2 af de 11 sektioner i hver produktionsenhed bliver skyllet på hverdage i ca. 30 minutter, og den sidste sektion bliver skyllet om lørdagen. Afvigelser fra de faste procedurer kan ske i forbindelse med f.eks. flytning af fisk, sygdomsbehandling mv.

Under tømning og skylning pumpes ca. 42 l/s til slambassinerne. Den samlede vandmængde, der bliver anvendt til tømning og skylning er som middel for måleåret opgjort til 4,3 l/s, hvilket svarer til ca. 4 % af den mængde, der bliver taget ind til dambruget.

## 5.3 Vandbalance

Med et samlet vandindtag på 107 l/s og et samlet tilløb til plantelagunen på 101 l/s, sker der altså et mindre tab over det samlede produktionsanlæg. Den primære årsag er som beskrevet formodentlig utæthed især i produktionsenhed 1. Dette bekræftes af, at tabet er størst i sommerperioden, jf figur 5, hvor grundvandstanden også er lavest, og derfor vil der kunne ske en større udsivning/nedsivning.

Nedbør og fordampning over selve produktionsanlægget har kun en meget ringe betydning for vandbalancen, da det på årsbasis kun vil tilføre hvad der som middel svarer til ca. 0,1 l/s.



**Figur 5** Samlet vandbalance over dambruget, månedsmiddel, l/s.

Udløbet fra plantelagunen, og dermed dambrugets samlede afledning til vandløbet, var som middel for måleåret på 73 l/s. Det samlede tilløb til plantelagunen var som middel på 101 l/s, og der kan således konstateres et gennemsnitstab i lagunen på ca. 28 l/s. svarende til 28 %. Tabet er lidt større i sommer- end i vinterperioden, jf. figur 5.

Der kan findes 3 mulige forklaringer på tabet af vand fra plantelagunerne:

1. Der sker en nedsivning fra bunden af plantelagunerne til grundvandet
2. Der sker en nedsivning til dræn og borerer til dambrugets indvinding
3. Der er utætheder i afgrænsningen mellem plantelagunerne og vandløbet

Ad 1. Hvis grundvandstanden er lavere end vandstanden i plantelagunerne kan der være en nedsivning fra disse. Afhængig af grundvandets strømningsretning, vil en andel af det tabte vand kunne strømme til vandløbet eller evt. i løbet af mange år via grundvandet til havet.

Ad 2. Nedsivning hvis grundvandstanden er lavere som under pkt. 1, men da indvindingen af vand til dambruget sker fra dræn og overfladenære borer i umiddelbar nærhed af plantelagunerne, kan det strømme hertil og dermed blive genanvendt i produktionen.

Ad 3. Utætheder og udsivning vil kunne opstå, hvis der er en snæver afgrænsning med smalle dæmninger mellem plantelagune og vandløb. På Kongeåens Dambrug ligger plantelagunerne ikke på nogen steder direkte op til vandløbet, så det vurderes ikke at dette forhold har betydning for tabet af vand.

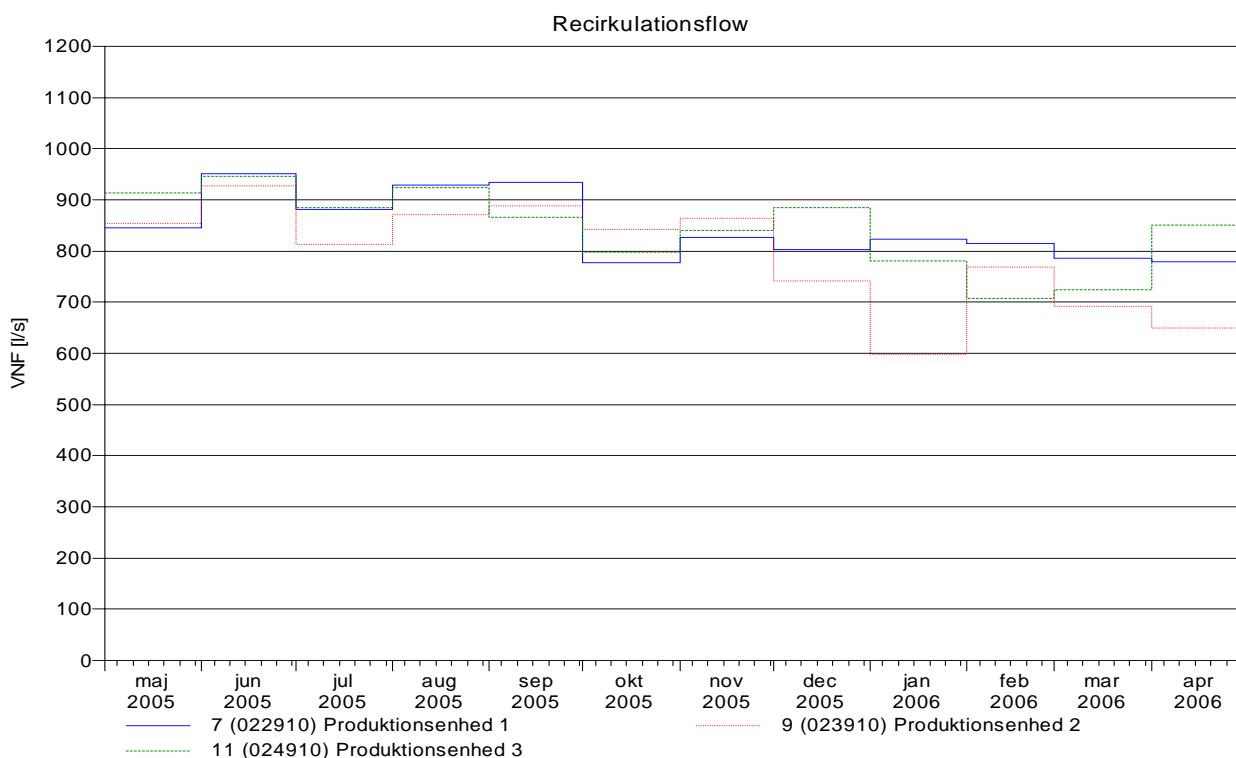
Da utætheder/udsivning gennem afgrænsning til vandløbet (ad 3) ikke umiddelbart vurderes at have betydning, må forklaringen være en kombination af nedsivning til grundvandet, hvorefter en del strømmer til vandløbet og en del strømmer til vandindtaget i dræn og borer. Hvor stor en andel af tabet, der indgår i de to processer vil kræve et supplerende projekt for kortlægning af grundvandsbevægelsen under og omkring dambruget som ligger ud over måle- og dokumentationsprojektet for modeldambrug. I kapitel 9 og 12 omtales betydningen af dette vandtab ift. beregnede rensegrader over plantelagunerne.

Som for produktionsanlægget har nedbør og fordampning kun ubetydelig indflydelse på vandbalancen i plantelagunen, som på et år maksimalt kan udgøre ca. 0,3 l/s. I enkelt døgn med megen nedbør kan det naturligvis have væsentligt større betydning.

## 5.4 Recirkulationsflow

Recirkulationen bliver drevet af luftpumperne i anlægget, så variationer i flowmængden vil også være en funktion af behovet for iltning. Derfor vil der være tendens til større flow i sommerperioden, hvilket også kan ses på figur 6, der viser månedsmiddel for den recirkulerede flowmængde i de 3 produktionsenheder. Flowet svarer til, at den gennemsnitlige strømhastighed i produktionsenhedernes sektioner med fisk er ca. 0,1 m/s.

Med et gennemsnitligt vandindtag på 107 l/s ( $Q_i$ ) og en samlet recirkulering på de 3 produktionsanlæg på 2477 l/s, ( $Q_r$ ) (tabel 4) betyder det, at recirkulationsgraden kan opgøres til 95,7 %, beregnet som  $(Q_r - Q_i) / Q_r$ . For modeldambrug type III forudsættes en minimum recirkulationsgrad på 95 %.



**Figur 6.** Recirkulationsflow i Kongeåens 3 produktionsenheder, månedsmiddel, l/s.

## 5.5 Vandforbrug/fodermængde

Ved at sammenholde det samlede vandindtag med det samlede foderforbrug kan det opgøres, at der på Kongeåens Dambrug er brugt 3.870 liter vand pr. kg foder eller 3.104 liter vand pr. kg produceret fisk. Dette er en faktor 10-15 lavere end i et traditionelt gennemstrømningsdambrug.

## 5.6 Hydraulisk belastning af laguner

Baseret på det beregnede areal af plantelagunerne (se kapitel 10.3) har den gennemsnitlige hydrauliske belastning af plantelagunen været 0,007 l pr. m<sup>2</sup> plantelagune og dermed ca. en tredjedel af den forudsatte max. belastningen på 1 l pr 48 m<sup>2</sup> plantelagune i modeldambrugsbekendtgørelsen (*Bekendtgørelse om modeldambrug, 2002*).

## 6 Stofkoncentrationer forskellige steder på dambruget

I tabel 5 er beregnet gennemsnitskoncentration for de analyserede, udtagne vandprøver i måleår 1 ved forskellige målestationer på Kongeåens Dambrug. Endvidere er angivet spredningen på koncentrationerne over 1. måleår. Hermed gives et billede af hvordan der i sættefiskeanlægget, levérdam og de tre produktionsenheder tilføres stof ved fiskeproduktionen og hvordan der fjernes stof via bl.a. slamkegler og biofiltre samt i plantelagunerne.

Det bemærkes, at koncentrationerne fra især tømning af slamkegler er meget høje for alle kemiske variable. Koncentrationerne i skyllevandet fra biofiltrene er også noget højere end i afløbet fra produktionsanlægene. Tallene for afløb fra biofilter 3 (produktionsenhed 3) er højere end tilsvarende værdier fra biofilter 1 og 2 og med en større variation. Desuden er koncentrationerne i slamvandet ved tømning af slamkegler i produktionsenhed 3 også højere end de tilsvarende koncentrationer i produktionsenhed 1 og 2. Dette hænger ikke umiddelbart sammen med et højere foderforbrug i produktionsenhed 3 end de to andre (anlæg 1: 308.703, anlæg 2: 301.533 og anlæg 3: 292.164).

Det bemærkes, at koncentrationen for ammonium, total kvælstof, ortho-fosfor, organisk stof ( $BI_5$  og COD) samt suspenderet stof i klaringsvandet fra slambassinerne (afløb fra slambassinerne til plantelagunerne) er væsentlig højere end i afløbet fra produktionsenheder og fra sættefiskeanlæg og levérdam.

Der er generelt stor spredning hvor der er høje gennemsnitskoncentrationer, hvilket især gælder slamvand fra slamkegler og returskylning af biofiltre og for klaringsvandet fra slambassinerne. Spredning på koncentrationerne for indtagsvandet er lave, som det må forventes (tabel 5).



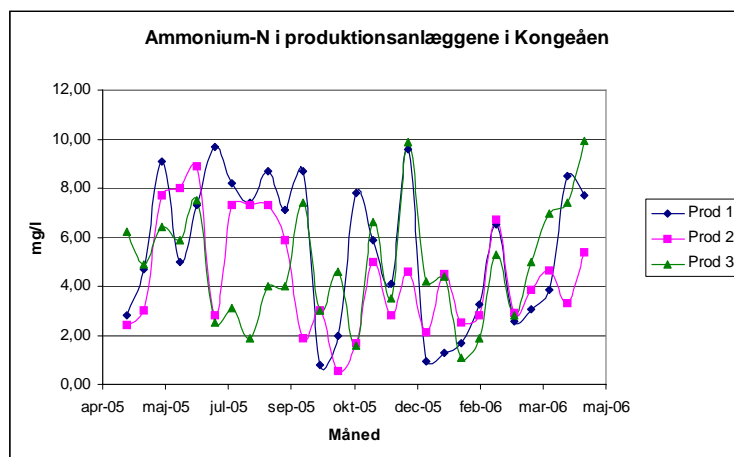
Målested	NH <sub>4</sub> -N		NO <sub>23</sub> -N		Total-N		Ortho-P		Total-P		BI <sub>5</sub>		COD		Susp. stof	
	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std
Vandindtag	1,0	0,7	1,3	0,5	2,5	0,9	0,0	0,0	0,1	0,1	1,1	0,3	10,3	3,0	1,9	1,7
Afløb sættefiskeanlæg	0,9	0,9	5,3	2,1	7,0	2,3	0,2	0,1	0,3	0,1	3,6	1,6	22,4	8,6	2,7	1,8
Afløb leveredam	3,0	2,1	2,6	1,1	7,2	3,2	0,1	0,1	0,3	0,1	6,3	3,1	26,8	7,7	9,0	5,0
Afl.. slamkeglers sættefiskeanlæg + leveredam	5,7	5,5	3,6	2,3	45,6	31,9	1,0	1,0	28,0	33,6	478	344	1304	1089	851	777
OS biofilter prod. enhed 1	5,8	3,0	4,3	1,5	11,6	2,9	0,2	0,2	0,4	0,2	5,1	1,8	29,2	11,0	3,9	1,8
Afløb biofilter prod. enhed 1	6,7	3,9	2,9	1,5	40,6	18,5	0,3	0,5	17,6	10,6	260	97	767	235	711	328
Afløb slamkegler prod. enhed 1	18,7	17,6	3,0	1,7	163	107	11,5	13,8	127	99,4	3754	2719	8769	6942	5379	6121
NS biofilter prod. enhed 1	5,5	2,9	4,3	1,5	11,5	2,6	0,2	0,2	0,3	0,2	4,5	1,8	26,1	5,3	3,3	1,2
OS biofilter prod. enhed 2	4,6	2,3	5,8	1,8	12,1	1,8	0,2	0,1	0,3	0,1	4,3	0,8	26,0	5,3	3,7	3,4
Afløb biofilter prod. enhed 2	5,6	2,6	4,4	1,4	44,6	13,1	0,2	0,2	15,2	7,9	239	75	758	244	732	287
Afløb slamkegler prod. enhed 2	20,5	13,8	2,3	1,8	208	107	15,2	15,8	164	102	5097	3637	10917	6000	7544	4324
NS biofilter prod. enhed 2	4,4	2,3	5,8	1,9	11,9	1,8	0,2	0,1	0,4	0,4	4,1	1,4	26,4	5,4	2,7	0,8
OS biofilter prod. enhed 3	5,1	2,5	6,2	1,6	13,2	2,8	0,2	0,1	0,3	0,1	4,8	1,2	27,6	4,8	3,6	2,4
Afløb biofilter prod. enhed 3	8,4	10,0	4,4	2,1	80,1	116	2,9	9,4	36,0	65,0	996	2822	2186	5263	1362	2544
Afløb slamkelger prod. enhed 3	23,4	23,7	3,4	2,0	263	136	17,4	29,1	221	162	6324	4742	13080	7972	7331	4117
NS biofilter prod. anlæg 3	4,9	2,4	5,9	2,1	12,8	2,0	0,2	0,1	0,3	0,1	4,1	0,9	27,0	5,8	2,7	1,2
Afløb slambede	13,3	7,5	1,8	2,4	25,3	8,2	1,7	2,1	4,7	4,5	118	67,2	280	133	70,5	25,9
Udløb dambrug	4,5	1,8	3,4	1,1	9,0	1,2	0,2	0,1	0,3	0,1	3,5	1,6	23,4	4,8	2,6	1,4

**Tabel 5** Gennemsnitskoncentrationen for kemiske variable forskellige målesteder på Kongeåens Dambrug. OS = opstrøms; NS = nedstrøms.

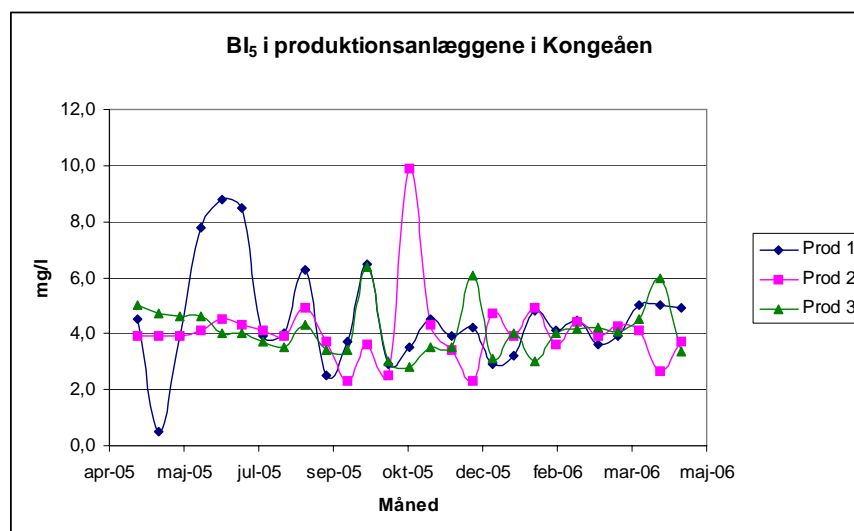
Udviklingen i ammonium-koncentrationen nedstrøms biofiltrene i de tre produktionsenheder udviser i begyndelsen af måleår 1 ret store variationer indbyrdes og fra uge til uge, hvorefter koncentrationsforløbet er mere ensartet mellem de tre produktionsenheder (figur 7). I vintermånederne og det tidligere forår var koncentrationen af ammonium-N nedstrøms biofiltrene mellem 1-4 mg N/l, mens det i sommerhalvåret generelt har ligget på mellem 4 og op til så meget som 10 mg N/l. Koncentrationsforløbet viser således store variationer i forbindelse med indkøring af anlægget og senere med udfordringen, som er lavest i vinterhalvåret og den kolde marts måned.

BI<sub>5</sub>-koncentrationen nedstrøms biofiltrene og de tre produktionsenheder i det første måleår viser et mere stabil niveau, der stabiliseres omkring 4 mg/l (figur 8). I de første måneder er der ret store variationer i BI<sub>5</sub> - koncentrationen nedstrøms biofilter i produktionsenhed 1. Overordnet falder variationen over tid i gennem måleperioden, hvilket indikerer at biofiltrene er blevet indkørt og driften af dem stabil.

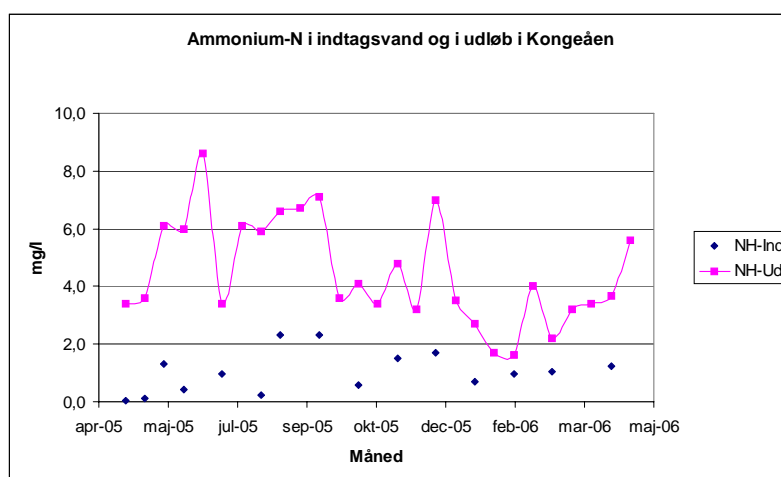
I figur 9 til og med 16 vises koncentrationsforløbet for de målte kemiske parametre i henholdsvis indtagsvandet og i afløbet fra plantelagunerne (dvs. afløb fra dambruget).



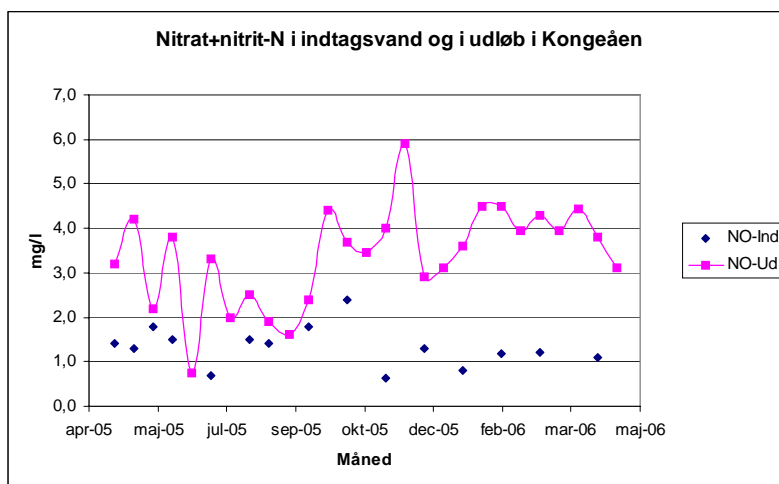
**Figur 7** Ammonium-N koncentrationen i produktionsanlæg 1, 2 og 3 målt nedstrøms biofiltrene i Kongeåens dambrug i det første måleår.



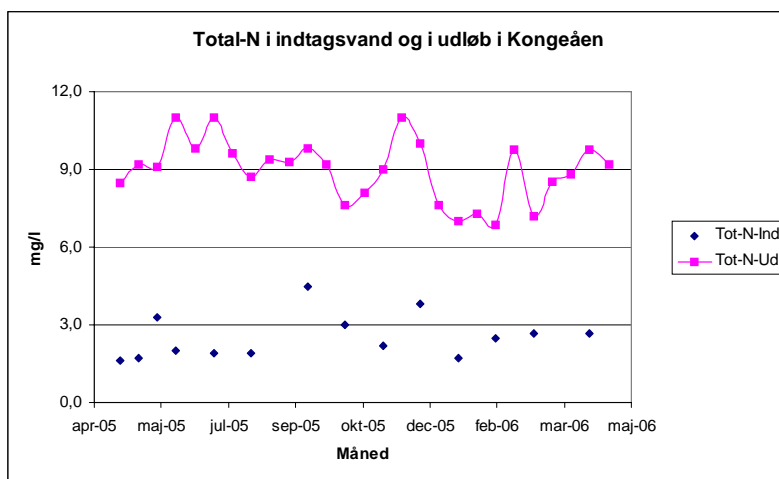
**Figur 8** BI<sub>5</sub>-koncentrationen i produktionsanlæg 1, 2 og 3 målt nedstrøms biofiltrene i Kongeåens Dambrug i det første måleår.



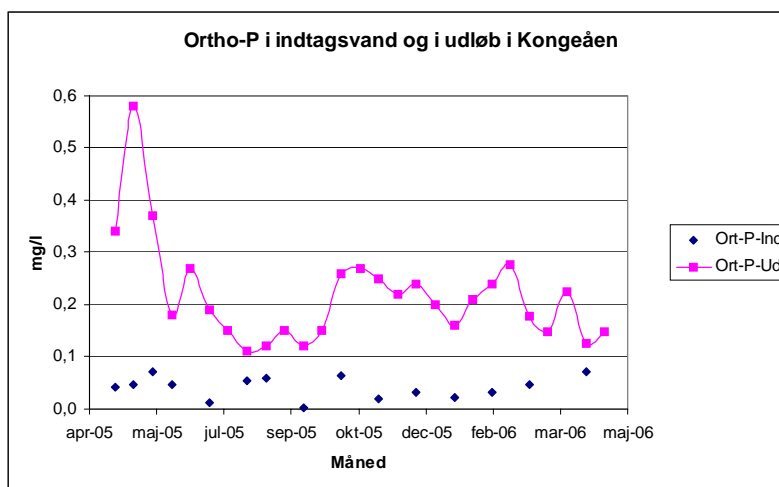
**Figur 9** Ammonium-kvælstof koncentrationen (mg/l) i indtagstvandet til Kongeåens Dambrug og i afløbet herfra til Kongeåen i første måleår.



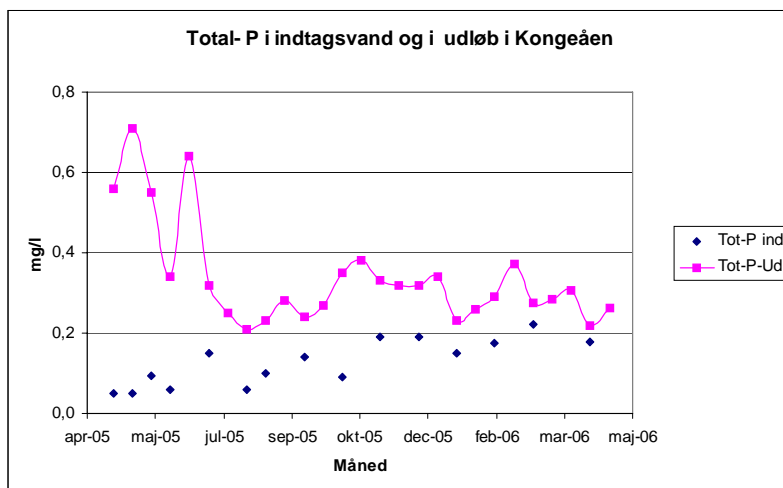
**Figur 10** Nitrat+nitrit-kvælstof koncentrationen (mg/l) i indtagstvåndet til Kongeåens Dambrug og i afløbet fra dambruget til Kongeåen i første måleår.



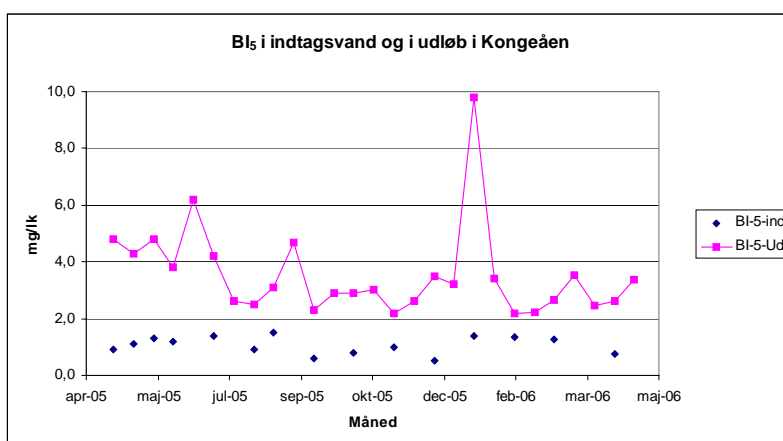
**Figur 11** Total-kvælstof koncentrationen (mg/l) i indtagstvåndet til Kongeåens Dambrug og i afløbet fra dambruget til Kongeåen i første måleår.



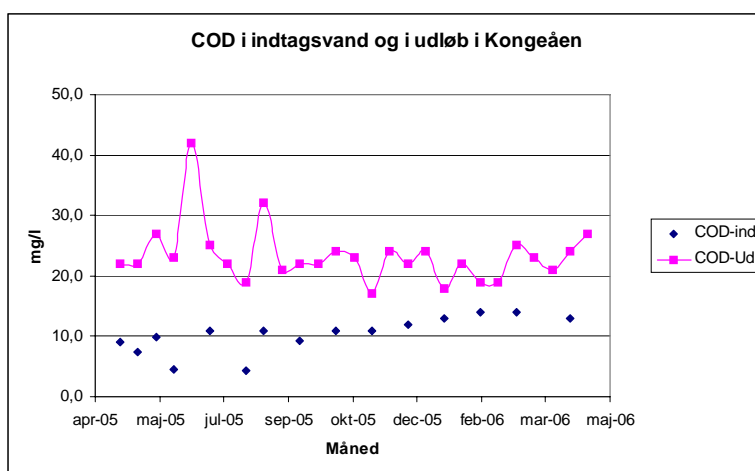
**Figur 12** Orthofosfat-fosfor koncentrationen (mg/l) i indtagstvåndet til Kongeåens Dambrug og i afløbet fra dambruget til Kongeåen i første måleår.



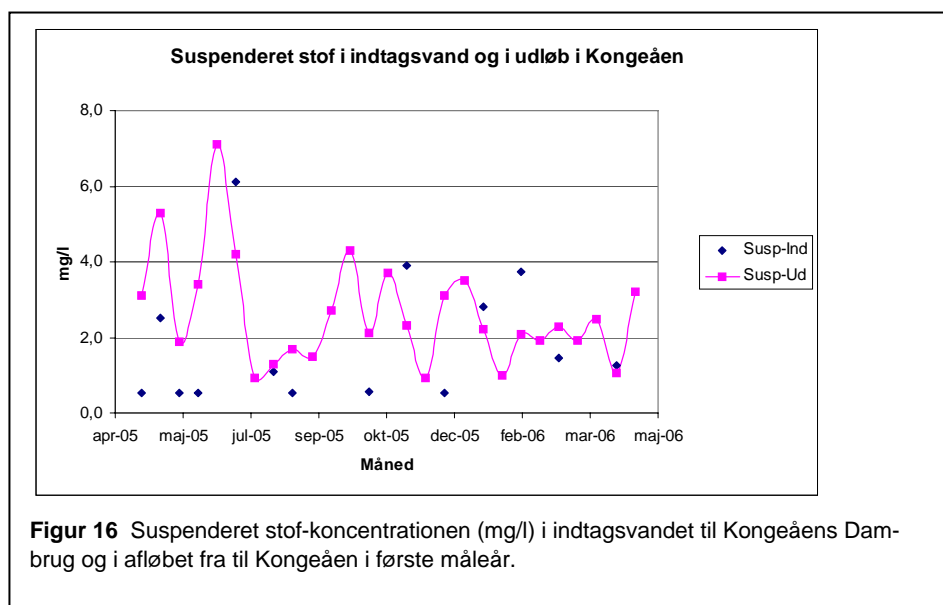
**Figur 13** Total fosfor koncentrationen (mg/l) i indtagstvandet til Kongeåens Dambrug og i afløbet herfra til Kongeåen i første måleår.



**Figur 14** BI<sub>5</sub> koncentrationen (mg/l) i indtagstvandet til Kongeåens Dambrug og i afløbet fra dambruget til Kongeåen i første måleår.



**Figur 15** COD-koncentrationen (mg/l) i indtagstvandet til Kongeåens Dambrug og i afløbet fra dambruget til Kongeåen i første måleår.



Nitrit-nitrat-N koncentrationens forløb (hvor langt hovedparten er nitrat) synes nærmest i modfase med den tilsvarende ammonium-N koncentration i udløbet fra Kongeåens Dambrug (figur 10). Efter at variere en del fra målerunde til målerunde de første 2-3 måneder af måleår 1 sker der fra sommeren 2005 en stigning i koncentrationen fra ca. 2,0 mg N/l til ca. 4,0 mg N/l i løbet af vinteren og det tidlige forår 2006.

Total kvælstof i udløbet fra Kongeåens Dambrug har været lidt højere i sommerhalvåret 2005 (8-11 mg N/l) end i vinterhalvåret (7-10 mg N/l) (figur 11). Total kvælstof består primært af ammonium-N og nitrat+nitrit-N, mens partikulært kvælstof (organisk kvælstof) kun udgør en mindre andel. Den lidt lavere total kvælstof koncentration i vintermånederne afspejler således det relativ store fald i ammonium-N koncentrationen i vintermånederne i udløbet fra dambruget.

I lighed med nitrat-kvælstof kan orthofosfat-P optages af planterne i plantelagunen i disses vækstsæson. Endvidere kan det bindes i et vist omfang til det sediment og evt. slam der ligger på bunden af plantelagunerne. Det kunne derfor forventes at orthofosfat-P er lavest i planternes vækstsæson, og hvis der tilføres ca. samme mængde orthofosfat-P til plantelagunerne igennem hele måleåret, være højere i vinterhalvåret. Efter en indledende meget høj koncentration i de første par måneder af måleår 1 ses dette overordnede mønster (figur 12). Niveaulet har ligget på mellem 0,1 og 0,3 mg orthofosfat P/l. Hovedparten af det fosfor der tages fra dambruget er på opløst form, hvorfor total-fosfor koncentrationen ret nøje følger koncentrationen for orthofosfat-P (figur 13). Det betyder at hovedparten af de partikler, der indeholder fosfor enten fanges i slambassinerne eller i plantelagunerne.

Udviklingen gennem måleåret for organisk stof koncentrationen i udløbet fra Kongeåens Dambrug udtrykt ved henholdsvis  $BI_5$  (figur 14) og COD (figur 15) forløber ikke helt identisk.  $BI_5$  koncentrationen falder gradvis fra et niveau på omkring 5-6 mg/l til fra efteråret 2005 at variere omkring 2-4 mg/l. Den tilsvarende COD-koncentration har typisk været på ca. 20-25 mg/l med en svagt stigende tendens gennem perioden.  $BI_5$  forbruges i biofiltret i forbindelse med omsætning. Samtidigt er en høj

opholdstid vigtig for en stor omsætning af  $BI_5$  (Fjorback et al. 2003).  $BI_5$  udgør en mindre andel af COD, dvs. hovedparten af COD er langsomt eller svært omsætteligt og betinget af andre processer end omsætningen af let omsætteligt stof ( $BI_5$ ).

Koncentrationen af suspenderet stof (partikler) varierer en del i løbet af det første måleår og især i begyndelsen (figur 16). Efter indkøringsfasen hvor bl.a. tømningssprocedurer for slamkegler og returskyllning af bio-filtre bliver optimeret og efter der i foråret 2005 kommer flere planter i lagunerne, stabiliseres koncentrationen af suspenderet stof på ca. 1-3 mg/l i udløbet fra Kongeåens Dambrug.

Som det fremgik af kapitel 5.3 er der et vandtab over plantelagunerne. Med det vand der siver ned gennem bunden af lagunerne kan der alene følge opløste stoffer som ammoniak, nitrat, orthofosfat samt i mindre omfang opløst organisk stof. Hvordan dette kan have påvirket koncentrationsudviklingen i udløbet fra Kongeåens Dambrug er vanskeligt at vurdere, da det ikke har været en del af projektet at undersøge et evt. vandtabs skæbne og indhold af stoffer. Problemstillingen behandles yderligere i kapitel 12.

## 7 Overholdelse af udlederkrav

I miljøgodkendelsen for Kongeåens Dambrug er der opstillet en række midlertidige udlederkrav i forsøgsperioden, der er givet som koncentrationsforøgelser i forhold til dambrugets indløb (indtagsvandets koncentrationer). Ribe Amt har stillet krav om, at overholdelse af udlederkravene foretages ved at anvende retningslinierne for tilstandskontrol i den til enhver tid gældende danske standard for afløbskontrol og statistisk kontrolberegning af afløbsdata, dvs. Dansk Standard 2399. Ribe Amt oplyser, at kontrol efter Dansk Standard 2399 generelt anvendes i amtet ved udlederkontrol fra dambrug. Imidlertid er DS 2399 beregnet til kontrol alene på udledninger, dvs. hvor der ikke er en koncentration i indløb, hvor udledninger fra dambrug bør foretages med udgangspunkt i forskellen i koncentrationen hen over et dambrug dvs. på den koncentrationsforøgelse over dambruget, jf. *Bekendtgørelse for modeldambrug (2002)* og anbefalingerne i faglig rapport nr. 60 fra DMU om "Afløbskontrol fra dambrug" (*Larsen og Svendsen, 1998*). Endvidere bør kontrollen for f.eks. total kvælstof og total fosfor gennemføres som en transportkontrol. Amtet søger at tage højde for dette ved at tillade at koncentrationen i indtagsvandet kan lægges oven i kravværdien ved beregning af udlederkontrollen, men dette giver problemer ved selve den statistiske beregning af, om udlederkravene er overholdt. Når dette beregnes efter DS2399 kan det kun beregnes på den faktiske koncentration i udledningerne og ikke på koncentrationsforskellen, fordi der i DS2399 skal omregnes til logaritmen af koncentrationen. Der kan ikke tages logaritmen af negative koncentrationer, som opstår i de tilfælde hvor indløbskoncentrationen er højere end den i udløbet fra dambruget. Endvidere er logaritmen til differencen mellem to koncentrationer (dvs.  $\log(a-b)$ ) ikke det samme som forskellen mellem logaritmen på de samme to tal (dvs.  $\log(a) - \log(b)$ ). Det vurderes derfor ikke at være fagligt korrekt at anvende DS2399 ved udlederkontrol på dambrug, der opererer med forskelskoncentrationer, den bør alene anvendes, hvor der ikke opereres med koncentrationer i indløbsvandet.

I tabel 6 er udlederkontrollen dels beregnet efter DS2399 og dels *Bekendtgørelse om modeldambrug (2002)*, dvs. efter *Larsen og Svendsen (1998)*. Det antages at sikkerheden for overholdelse af udlederkravene skal være 95 % (sikkerheden for miljøet) som forudsat i Dambrugsbekendtgørelsen og anbefalet i *Pedersen et al. (2003)*. Sædvanligvis regnes 95 % statistisk sikkerhed for at være temmelig høj.

Kontrol-parameter	Kravværdi i Miljøgodk. (mg l <sup>-1</sup> )	Udledn. efter DS2399 (mg l <sup>-1</sup> )	Udledning efter Bekendt. modeldambrug (mg l <sup>-1</sup> )	Teoretiske kravværdier jf. Dambrugsbekendtgørelsen (mg l <sup>-1</sup> )
Susp. stof	10	2,98	1,65	41 (3)
NH <sub>4</sub>	1,0	5,07	4,23	5,4 (0,4)
Total-N	8,0	9,52	7,02	8,0 (0,6)
Total-P	0,7	0,380	0,282	0,7 (0,05)
BI <sub>5</sub>	10	3,96	3,27	10 (0,7)

**Tabel 6** Kontrol på udledningerne fra Kongeåens Dambrug (dvs. ikke på forskelskoncentrationen over dambruget) det første måleår med beregnede statistiske udlederværdier beregnet dels ud fra DS2399 = Dansk Standard for udlederkontrol og beregnet efter miljøgodkendelsen som anbefalet i Bekendtgørelsen om modeldambrug, jf. *Larsen og Svendsen (1998)*, men som tilstandskontrol. Der er beregnet efter en statistisk sikkerhed på overholdelse af udledninger på 95 %. Med kursiv er vist, hvor udlederkravene ikke er overholdt det første måleår. Sidste kolonne er de beregnede udlederkravværdier hvis dambrugsbekendtgørelsens vejledende udlederkravværdier (som er angivet i parentes) ganges med forholdet mellem tilladt vandindtag før ombygning og max. vandindtag efter ombygning.

Den statistisk beregnede udlederværdi, der sammenholdes med udlederkravet, findes som gennemsnitskoncentrationen i kontrolperioden (her måleår 1) plus spredningen på koncentrationerne i kontrolperioden ganget med en statistisk justeringsfaktor, som beregnes jf. *Larsen og Svendsen (1998)* og *Pedersen et al. (2003)*. Kursiv i tabel 6 angiver hvor udlederkravene ikke har været overholdt for en given kemisk variabel ved den angivne kontrolmetode. Udlederkontrollen viser at Kongeåens Dambrug ikke har overholdt udlederkravet i det første måleår hvad angår ammoniak uanset hvilken kontrolmetode der anvendes, og at udlederkravene heller ikke overholdes for total kvælstof såfremt kontrollen udføres efter DS2399. For de øvrige kemiske variable overholdes udlederkravene. Det er nærliggende at vurdere, at hvis udlederkravene blev overholdt for ammoniak ville der næppe være problemer med at overholde kravværdierne for total kvælstof. Overskridelsen for ammonium er relativ stor, da de beregnede udledninger jf. udlederkontrollen giver mellem 4,2 og 5,1 mg/l ammonium-N mod miljøgodkendelsens krav om maksimalt 1 mg/l.

I tabel 6 er også angivet, hvad kravværdien teoretisk ville blive efter Dambrugsbekendtgørelsens vejledende udlederkravværdier, såfremt hele reduktionen i vandindtaget sammenlignet med før ombygningen til et modeldambrug blev godskrevet dambruget, svarende til faktor 13,6 (forholdet mellem tilladt vandindtag før ombygning på 1781 l/s og efter ombygning 131 l/s) på udlederkravværdier. Så ville Kongeåens Dambrug lige netop overholde udlederkravet ved 95 % statistisk sikkerhed baseret på tallene fra det første måleår.

Det fremgår i øvrigt, at for total kvælstof, total fosfor og organisk stof (BI<sub>5</sub>) har amtet i miljøgodkendelsen fastlagt kravværdierne lig med de teoretiske kravværdier efter dambrugsbekendtgørelsen, dvs. med fuld kompensation for reduktionen i vandindtaget.



## 8 Massebalancer

### 8.1 Produktionsbidrag

I følge den førte driftsjournal har foderforbruget i det første måleår været på i alt 902,41 tons. Der er beregnet en produktion på 1.078,5 tons fisk (inkl. døde), dvs. med en foderkvotient på produktionsanlægget på 0,837. I kapitel 3.2 er redegjort for beregning af produktionsbidraget som fremgår af tabel 7 med antagelse om 1 % foderspild.

Produktionsbidrag	NH <sub>4</sub> -N	Total N	Total P	BI <sub>5</sub>	COD
I kilo	28.338	33.230	3.676	70.255	234.183
I kg pr. tons foder	31,4	36,8	4,1	77,9	260
I kg pr. tons fisk (i produktionsanlægget)	26,3	30,8	3,4	65,1	217

**Tabel 7** Beregnede produktionsbidrag for det første måleår på Kongeåens Dambrug opgjort i kg, kg pr. tons foder og kg. pr. tons produceret fisk.

### 8.2 Massebalancer

For at kunne beregne hvor meget stof der fjernes i forskellige dele af dambruget er der beregnet, hvor store stofmængder der er tilført og afledt forskellige steder på dambruget, så der kan beregnes massebalancer hen over f.eks. de tre produktionsenheder, plantelagunerne, over hele dambruget m.v. En stofmængde er (fraset produktionsbidraget) beregnet ved at gange en daglig vandmængde et givent målested med en tilhørende døgnmiddelkoncentration. Vandmængderne måles som beskrevet i kapitel 2 kontinuert i en række målepunkter for hvilke der er beregnet en døgnmiddel vandmængde. De døgnlige stofkoncentrationer er fundet ved lineær interpolation mellem de målte døgnmiddelkoncentrationer fra prøvetagning af vandkemiske prøver hver 14. dag. Stofmængderne forskellige steder på dambruget fremgår af tabel 8.

De to kilder til stofinput er boringerne (indtagsvandet = I) og foder (produktionsbidraget eller bidrag fra fiskeproduktionen = P). Produktionsbidraget ses som et stofbidrag fra slamkegletømning i sættefiskanlæg, levérdam og de tre produktionsenheder, returskylning af biofiltre i produktionsanlægget samt via de forøgede stofmængder der løber ud af produktionsanlægget til plantelagunerne ift. indtagsvandet. Produktionsbidraget er opgjort samlet for de tre produktionsanlæg og sættefiskanlægget.

Som omtalt i kapitel 5.3 tabes der vand over dambruget, netto knap 32 % det første måleår. Dette viser sig dels ved et vandtab over produktionsanlæg 1 på ca. en tredjedel af vandtilførslen til dette anlæg. Herudover sker der et vandtab over plantelagunerne på ca. 28 % af tilførslen. Den

vandmængden der tilføres og afledes fra slambassiner er der en vis usikkerhed på. Det skyldes dels at der kun tilføres vand i visse perioder, således at beregningerne er afhængig af tidsangivelser for hvornår pumper fra slambrønde til slambassiner har kørt, dels at et overløbsrør fra slambedene (uden et vandur), er i anvendelse i kortere perioder, jf. kap. 5.1. Der erkendes også at vandbalancen over slambassiner ikke passer, et forhold der vil blive arbejdet yderligere med ift. den første fælles statusrapport for 1. måleår for alle 8 modeldambrug. Samlet betyder vandmængderne til slambassinet ikke meget for den samlede vandbalance.

	Vandmæng.	Susp	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>23</sub> -N	Total-N	Ortho-P	Total-P	Mod.BI <sub>5</sub>	COD
	1000 m <sup>3</sup>	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
<b>Indtagvand samlet (I)</b>	3369	6380	3798	4425	8895	135	465	3533	35860
<b>Produktionsbidrag (P)</b>	-	-	27876	-	31505	-	3490	68088	226961
<b>Samlet stofinput (I + P)</b>	3369	>6380	31674	>4425	40400	>135	3955	71621	262821
<b>Slamkegler sættefiskeanlæg og levérdam</b>	5	4569	31	16	203	4	126	2475	6749
<b>Slamkegler 3 produktionsenheder</b>	13	83897	315	38	2739	238	2211	68822	139927
<b>Biofilterskyl 3 produktionsenheder</b>	80	55475	475	325	3462	19	1452	18922	59952
<b>Tilført slambassiner i alt</b>	97	143941	821	379	6403	261	3789	90219	202628
<b>Udløb sættefisk til plantelaguner</b>	299	842	283	1505	2018	49	76	1061	6583
<b>Udløb levérdam til plantelaguner</b>	293	2706	923	803	2118	35	91	1871	7954
<b>Afløb i alt 3 prod.enheder til plantelagune</b>	2437	6975	11860	13205	29514	452	754	10275	64714
<b>Klaringsvand fra slambassiner til plantelagune</b>	153	10683	2122	263	3908	293	757	18678	43701
<b>Tilført plantelaguner i alt</b>	3182	21206	15188	15776	37558	829	1677	31886	122952
<b>Udløb fra dambrug</b>	2303	5997	10464	7717	20682	495	768	8176	53724

**Tabel 8** Beregnede samlede stofmængder i første måleår ved forskellige målesteder på Kongeåens Dambrug. I = stofmængder i indtagvand. P = produktionsbidrag fra fiskeproduktionen (foder). Der kan ikke beregnes produktionsbidrag for suspenderet stof, nitrat og orthofosfat. Det gennemsnitlige vandindtag har været 106,8 l/s.

I modsætning til de fleste gennemstrømningsanlæg giver produktionsbidraget på Kongeåens Dambrug lang større stoftilførsel end vandindtaget.

Stofmængden i afløb fra slambassinerne (det klarede slamvand) for suspenderet stof, fosfor og organisk stof (BI<sub>5</sub> og COD) er af samme størrelsesorden eller større end stofmængden, der tilføres plantelagunerne ved afløb fra de tre produktionsenheder. Endvidere tilføres plantelagunerne også en del ammonium med klaringsvandet fra slambassinerne. Det betyder, at en større del af det stof der egentligt er tilbageholdt og overført til slambassinerne, tilbageføres til plantelagunerne og evt. udledes. Det bemærkes også, at plantelagunerne tilføres ganske store mængder ammonium mest via afløb fra produktionsanlægget men også med klaringsvandet fra slambedene.

## 9 Rensegrader og stoffjernelse

### 9.1 Beregning af rensegraden

I dette kapitel beregnes stoffjernelsen over hele dambruget og over del-del-elementerne i produktionsanlæg, plantelagune m.v. Rensegraden beregnes ud fra to beregningsmetoder. Rensegraden  $R_N$  for en given kemisk variabel er bestemt ud fra anvisningen i *Bekendtgørelsen for modeldambrug (2002)*, som

$$R_N (\%) = ((P - U_N) / P) * 100, \text{ hvor} \quad (1)$$

$P$  = produktionsbidraget

$U_N$  = dambrugets nettoudledning, dvs. målte udledning  $U_M$  minus  $I$  = input fra indtagsvand (boringer).

Denne metode kan kaldes nettorensesegraden, som svarer til at stoftilbageholdelsen over hele dambruget  $S_N$  for en given kemisk variabel bestemmes i procent af produktionsbidraget  $P$  for det samme stof, dvs.

$$R_N (\%) = S_N / P * 100$$

Endvidere beregnes en bruttorensesegrad  $R_B$  hvor stoftilbageholdelsen over dambruget  $S_N$  for en given kemisk variabel bestemmes i procent af den samlede stoftilførsel dvs. ift. produktionsbidraget  $P$  plus stofbidraget fra indtagsvand ( $I$ ), dvs.

$$R_B (\%) = (S_N / (I + P)) * 100 \quad (2)$$

### 9.2 Rensegrader over hele dambruget

Målinger og beregninger for første det første måleår viser at nettorensesegraden ( $R_N$ ) har været 63 % for total kvælstof (N), 91 % for total fosfor (P) og 93 % for organisk stof udtrykt som  $BI_5$ , hvilket er højere end forudsætningerne i jf. *Bekendtgørelsen for modeldambrug (2002)* for type III modeldambrug. Bekendtgørelsen forudsætter rensegrader på henholdsvis 11 %, 60 % og 75 % for de tre kemiske variable for et type III modeldambrug uden mikrosigter. For total kvælstof skal der til de 11 % dog tillægges, at plantelagunerne forudsættes at fjerne 1 g N pr dag pr  $m^2$ , dvs. 365 g pr.  $m^2$  pr. år eller med de 14.800  $m^2$  plantelagune i Kongeåens Dambrug (jf. kapitel 11) 5.402 kg total kvælstof pr. år. Omregnet svarer dette til at nettorensesegraden for kvælstof mindst skal være 27 %, hvilket til fulde er opfyldt.

I de beregnede rensegrader indgår det stof, der er fjernet grundet ned-sivning fra plantelagunerne. De beregnede rensegrader er derfor et maksimalt mål for permanent stoffjernelse som reelt kan være lavere, hvilket diskuteres i kapitel 12.

Man skal være opmærksom på at for modeldambrugene under forsøgsordningen er der dispenseret ift. kvælstofudledninger således at det er den forventede rensegrad for fosfor, der har bestemt den tildelte foder-mængde. Det betyder, at dambruget skal op omkring en rensegrad på 60-65 % for total kvælstof for efterfølgende at kunne opfylde rensegraderne ift. til det tildelte foderforbrug. Selv om rensegraderne for total kvælstof er høj kan dette forhold plus at det fjernes kvælstof med det nedsivende vand fra plantelagunerne være årsagen til at det ikke ud fra tilstandskontrol af udledninger efter DS2399 har været muligt at overholde udlederkravene for total kvælstof.

Beregningerne viser også, at selvom nettorensgraden har været på ca. 76 % for ammonium-N, så er dette ikke en tilstrækkelig stor omsætning til, at de fastsatte udlederkrav kan overholdes, da disse for ammonium-N er meget skrappe. De mængder ammoniak, der løber fra ikke mindst de tre produktionsenheder er for store.

Der er ikke udregnet rensegrader for suspenderet stof, da det ikke giver mening at beregne et produktionsbidrag for suspenderet stof.

Forskellen mellem netto- og bruttorensgraderne afspejler, hvor meget stofbidraget fra indtagsvandet udgør af produktionsbidraget. Det har mindst betydning for BI<sub>5</sub> hvor de to mål for rensegrader er næsten ens og størst ved total N hvor bruttorensgraden er 14 procentpoint lavere end nettorensgraden.

	Vandmængde 1000 m <sup>3</sup>	NH <sub>4</sub> -N kg	Total -N kg	Total -P kg	BI <sub>5</sub> kg	COD Kg
Indtagsvand samlet (I)	3369	3798	8895	465	3533	35860
Produktionsbidrag (P)		27876	31505	3490	68088	226961
Stofbidrag boringer + produktionsbidrag (I+P)	3369	31674	40400	3955	71621	262821
Målte udledning fra dambruget (U <sub>M</sub> )	2303	10464	20682	768	8176	53724
Dambruget nettoudledning U <sub>N</sub> (U <sub>M</sub> minus I)		6667	11787	303	4643	17864
Nettorensgraden R <sub>N</sub> (%) jf. formel (1)		76	63	91	93	92
Bruttorensgrad R <sub>B</sub> (%) jf. formel (2)		67	49	81	89	80
Stofudledning netto i g pr kg produceret fisk		6,2	10,9	0,28	4,3	16,6
Stofudledning brutto i g pr kg produceret fisk		9,7	19,2	0,71	7,6	49,8

**Tabel 9** Beregnede udledninger til vandløb og rensegrader over Kongeåens Dambrug for første måleår, ud fra henholdsvis samlede stofinput til dambruget (brutto) og ud fra produktionsbidraget (netto). Endvidere er stofudledningerne beregnet brutto og netto ift. mængde produceret fisk.

I tabel 9 er der endvidere angivet en stofudledning i g pr. kg produceret fisk beregnet både ift. den faktiske udledning fra dambruget (brutto) og ift. nettoudledningen fra dambruget det første måleår (netto). De tilsvarende tal for netto stofudledninger pr. gram produceret fisk for Døstrup Dambrug (Fjorback *et al.*, 2003) var:

- NH<sub>4</sub>-N: 4-6 g pr kg. produceret fisk
- Total N: 5-11 g pr. kg produceret fisk
- Total P: 2 g pr. kg produceret fisk
- BI<sub>5</sub>: 20-28 g pr. kg produceret fisk.

### 9.3 Rensegrader over produktionsanlægget og over plantelagunerne

I dette afsnit vises resultaterne for stoftilbageholdelse og rensegrader over produktionsanlægget (tabel 10) og over plantelagunerne (tabel 11). I tabel 10 er medtaget stoffjernelsen i sættefiskeanlæg og levérdam. I forhold til afløb af klaringsvand fra slambassinerne kan der ikke skelnes om det stammer fra de tre produktionsenheder eller fra sættefiskeanlæg og leverdam. I tabel 10 er der derfor angivet den samlede mængde klaringsvand med tilhørende stofmængder. Det bemærkes dog fra tabel 8 at betydningen af stoftilførsel fra sættefiskeanlæg og levérdam kun udgør nogle få procent i forhold til de tre produktionsenheder for de fleste kemiske variable. Produktionsbidraget er det samlede produktionsbidrag vedr. det anvendte foder i første måleår.

Stoffjernelsen i produktionsanlægget er et mål for, hvad der fysisk opsamles i slamkeglerne og biofiltrene og som føres over i slambassinerne. Det dækker endvidere også en evt. omsætning af stof som giver anledning til et stoftab i produktionsenhederne herunder i sættefiskeanlæg og leverdam samt i biofiltrene (og evt. i slamkeglerne). Stoffjernelsen i produktionsanlægget er fundet som forskellen mellem det stof, der tilføres produktionsanlægget via boringsvandet og produktionsbidraget minus det stof, der er målt løbende fra de tre produktionsenheder, sættefiskeanlægget og levérdammen til plantelagunerne. Endelig kan der være et tab af opløst stoffer med de 10% af de indtagne vand til de tre produktionsenheder der tapes i over produktionsenhed 1.

For plantelagunerne beregnes stoftilbageholdelsen som forskellen mellem det stof, der tilføres fra de tre produktionsanlæg, sættefiskeanlægget og levérdam samt med klaringsvandet fra slambed minus det stof som udløber fra dambruget (afløb plantelaguner).

Rensegraderne er både i tabel 10 og 11 beregnet på to måder:

- stoffjernelse i procent af stoftilførslen til produktionsanlægget (tabel 10) og til plantelagunerne (tabel 11)
- stoffjernelse i procent af det samlede produktionsbidrag (tabel 10 og 11)

For plantelagunerne beregnes stoffjernelse endvidere i procent af den samlede stoftilførsel til dambruget (dvs. i procent af I + P fra tabel 9)

For produktionsanlægget er stoffjernelsen desuden blevet beregnet som angivet i de to dots ovenfor, men hvor der er modregnet for at en større del af det stof, der overføres til slambassinerne via tømning af slamkegler og returskyllning af biofiltre, efterfølgende ledes til plantelagunerne sammen med klaringsvandet fra slambassiner. Dette stof er dermed reelt ikke fjernet. Dette er et mål for netto stoffjernelse i slamfælder og biofiltre, mens stoffjernelsen udregnet uden der tages højde for afløb af stof med klaringsvandet, er et mål for brutto tilbageholdelse/omsætningen i slamfælder og biofiltre (hvad de har tilbageholdt/fjernet og ført over i slambedene). Jo bedre man bliver til at reducere stofmængderne i klaringsvandet, des tættere vil netto og brutto tallene komme på hinanden og desto større reel rensning vil renseforanstaltningerne i produktions-

anlægget kunne præstere. Samtidig vil plantelagunerne skulle tilbageholde mindre stof og udledninger kan antages at blive reduceret.

For plantelagunerne er stoftilbageholdelsen/omsætningen også udtrykt i gram per m<sup>2</sup> plantelagune pr. dag for at kunne sammenligne med andre dambrug (tabel 11)..

	Vand- mængde 1000 m3	Suspend. stof kg	NH <sub>4</sub> -N kg	Total -N kg	Total -P kg	BI <sub>5</sub> kg	COD kg
<b>Produktionsanlæg</b>							
Indtagvand samlet (I)	3369	6380	3798	8895	465	3533	35860
Produktionsbidrag (P)			27876	31505	3490	68088	226961
I alt tilført produktionsanlæg	3369	>6380	31674	40400	3955	71621	262821
Afløb fra det samlede produktionsanlæg	3029	10523	13625	33650	921	13207	79251
Stoffjernelse over det samlede produktionsanlæg	-	-	18049	6750	3034	58414	183750
Stoffjernelse produkt.anlæg i % af input (a)	-	-	57	17	77	82	70
Stoffjernelse produkt.anlæg i % af prod.bidrag (b)	-	-	65	21	87	86	81
Stof klaringsvand fra slambede til plantelaguner	153	10683	2122	3908	757	18678	43701
Som (a) men reguleret for stof tab klaringsvand	-	-	50	7	58	56	53
Som (b) men reguleret for stof tab klaringsvand	-	-	57	9	65	58	62

**Tabel 10** Stoffjernelse over hele produktionsanlægget inkl. evt. stof idet vand der tabes over produktionsenhed 1 og de tilhørende rensegrader for det første måleår ved Kongeåens Dambrug for kemiske variable. Rensning i sættetiskeanlæg og leveredam er medregnet. Se tekst for nærmere forklaring

Ved sammenligning af resultaterne i tabel 10 og 11 skal man være opmærksom på, at stof, der fjernes i produktionsanlægget og ikke senere tilføres plantelagunerne via klaringsvandet fra slambassinerne ikke også kan fjernes i plantelagunerne. Det betyder, at plantelagunerne sandsynligvis kan fjerne mere af nogle stoffer end de faktisk gør, hvis de blev belastet hårdere.

Umiddelbart fjernes store dele (mellem knap 60 og godt 80 %) af stofinputtet i produktionsanlægget ift. ammoniak, total fosfor og organisk stof (BI<sub>5</sub> og COD) og endnu højere andele, hvis stoffjernelse beregnes ift. produktionsbidraget. Til gengæld er stoffjernelsen af total kvælstof betydeligt lavere (17 % af det samlede input og 1/5 af produktionsbidraget). Skal man reelt vurdere stoffjernelsen i produktionsanlægget og sammenligne med betydningen af den tilsvarende stoftilbageholdelse i plantelagunerne skal der imidlertid tages højde for, at en væsentlig del af det stof, der er ført over i slambassinerne ved returskylning af biofiltre og tømning af slamkegler, efterfølgende udledes til plantelagunerne med klaringsvandet. Ses på den reelle nettofjernelse af stof i de tre produktionsenheder, så er denne set ift. produktionsbidraget på knap 60 % for ammonium og 58-65 % for total fosfor og organisk stof. Da ca. 10 % af det vand der indtages i de tre produktionsenheder mistes (sker i produk-

tionsenhed 1) kan en mindre del af de opløste stoffer som er beregnet fjernet over produktionsanlægget reelt være fulgt med nedsivningsvand.

For total kvælstof er nettofjernelsen i produktionsanlægget lav, nemlig under 10 %. Den relativt høje netto tilbageholdelse af fosfor i de tre produktionsenheder skyldes bl.a. at der på et relativt tidligt tidspunkt i det første måleår blev tilsat noget fosforfældningsmiddel i slambassinerne (et aluminumholdigt produkt), der binder opløst fosfor, så det fældes inden det når plantelagunerne. Ellers ville netto tilbageholdelsen i produktionsanlægget formentlig have været lavere.

Fjernelsen af ammonium er et udtryk for at dette omdannes til nitrat. Dermed fjernes der ikke kvælstof, men der sker i stedet en tilførsel af nitrat til plantelagunerne. Nitraten kan optages i planter, omsættes til frit kvælstof, hvis der er slam på bunden af plantelagunerne med let-omsætteligt organisk stof og iltfattige forhold. Det kan også sive med vandet ud af bunden på plantelagunerne, hvor noget kan omsættes og noget nå enten grundvandet eller vandløbet og endeligt kan det udledes med udledningerne fra dambruget.

Plantelagune	Vandmæng. 1000 m <sup>3</sup>	Susp. stof kg	NH <sub>4</sub> -N kg	NO <sub>23</sub> -N kg	Total -N kg	Ortho P kg	Total-P kg	BI <sub>5</sub> kg	COD kg
Samlet tilførsel til plantelaguner	3182	21206	15188	15778	37558	829	1677	31886	122952
Udløb fra plantelaguner til vandløb	2303	5997	10464	7717	20682	495	768	8176	53724
Tilbageholdelse i plantelagunen	878	15209	4724	8059	16876	333	909	23710	69228
Tilbagehold. plantelagune i % af input	28	72	31	51	45	40	54	74	56
Tilbagehold. plantelagune i % af prod.bidrag	-	-	17	-	55	-	26	35	31
Tilbageholdelse i % brutto input dambrug	26	-	15	-	42	-	23	33	26
Tilbageholdelse g pr. m <sup>2</sup> pr dag (14800 m <sup>2</sup> )		2,8	0,87	1,5	3,1	0,06	0,17	4,4	13

**Tabel 11** Beregnet stoftilbageholdelse/-fjernelse over plantelagunerne inklusiv evt. stof i vandet der siver ud af bunden på disse og de tilhørende rensegrader for kemiske variable. Den samlede tilførsel til plantelaguner består af afløbsvand fra produktionsanlægget og klaringsvand fra slambassinerne.

Såfremt der ikke tages højde for om der med vandtabet ud af bunden på lagunerne også tabes stof, så tilbageholdes/fjernes ca. 30 % af det tilførte ammonium-N i plantelagunerne. Tilsvarende tilbageholdes fra 40 til godt 50 % af det tilførte nitrat, total kvælstof og fosfor. Der omsættes meget let-omsætteligt organisk stof (74 % af tilført BI<sub>5</sub>), mens tilbageholdelsen af det tilført COD er lidt lavere, godt 50 %. Ammonium-N er på opløst form og kan derfor følge med det vand, der siver nedenud af plantelagunerne. Det er ikke muligt præcist at vurdere, hvor det vand der siver ud af plantelagunerne løber hen, men en del genindvindes uden tvivl som indtagvand til dambruget. Noget af det opløste stof, der følger med nedsivningsvandet vil også blive omsat i jorden under mættede forhold, f.eks. nitrat og en del af det opløste fosfor kan bindes til

jordpartikler. Endeligt kan en andel nå grundvandet eller vandløbet længere nedstrøms.

Sammenlignes rensegraden i plantelagunerne beregnet i forhold til produktionsbidraget med de tilsvarende rensegrader i produktionsanlægget (når der er taget højde for stoftab med klaringsvandet) fjernes der i produktionsanlægget en langt større del af produktionsbidraget af ammonium (57 %) og total fosfor (65 %) end i plantelagunerne, hvor der kun fjernes henholdsvis 17 % og 26 %. Tilsvarende er netto rensegraden af produktionsbidraget større i produktionsanlæg for  $\text{BI}_5$  og COD (henholdsvis 58 % og 62 %) sammenlignet med plantelagunerne (henholdsvis 35 % og 21 %). For total kvælstof er netto rensegraden af produktionsbidraget væsentlig højere i plantelagunerne (55 %) end i produktionsanlægget (9 %).

Sammenlignes stoffjernelsen med den aktuelle belastning fjerner plantelagunerne en væsentlig højere andel af total kvælstof (45 %) end det er tilfældet netto over produktionsanlægget (7 %) og det samme gælder  $\text{BI}_5$  (74 % mod 56 %). For total fosfor og COD er stoffjernelsesprocenten næsten ens over plantelaguner og netto over produktionsanlægget, mens den er væsentlig lavere for ammonium-N over plantelagunerne. Renseforanstaltningerne i produktionsanlægget fjerner/omsætter meget ammonium, fosfor og organisk stof og ligger opstrøms plantelagunerne, hvorfor disse naturligvis har en mindre stofmængde at rense på.

Udtrykkes stoffjernelsen ift. overfladearealet i plantelagunerne fås 3,1 g N pr.  $\text{m}^2$  pr. døgn for total kvælstof, hvilket er langt over forudsætningen for modeldambrugene på de 1,0 g pr.  $\text{m}^2$  pr. døgn, som blev fastlagt efter der på Døstrup Dambrug var målt mellem 0,9 og 1,4 g N pr.  $\text{m}^2$  pr. døgn (Fjorback et al., 2003). Selv med et vandtab i lagunerne på 28 % har kvælstoffjernelsen pr. arealenhed plantelagune i det første måleår været betydeligt over forudsætningerne. Den beskedne nettofjernelse af kvælstof andre steder i dambruget medfører dog, at den samlede fjernelse af kvælstof tilsyneladende ikke er helt tilstrækkelig over hele dambruget. For ammonium-N, total fosfor og  $\text{BI}_5$  har stoffjernelsen pr.  $\text{m}^2$  plantelagune også været højere end resultaterne fra Døstrup Dambrug, som gav:

- 0,16 - 0,29 g  $\text{NH}_4\text{-N}$  pr.  $\text{m}^2$  plantelagune pr. døgn
- 0,03 - 0,07 g fosfor pr.  $\text{m}^2$  plantelagune pr. døgn
- 1,8- 2,5 g  $\text{BI}_5$  pr.  $\text{m}^2$  plantelagune pr. døgn

På Døstrup Dambrug var der ikke et nettoudsivning af vand fra plantelagunerne.

#### 9.4 Sammenligning af stoftab over dambruget

I dette afsnit sættes summen af stoffjernelse forskellige steder på dambruget til 100 % for direkte at kunne sammenligne stoffjernelsen over:

- Produktionsanlægget, hvor der henholdsvis er taget højde for stoffjernelse med klaringsvandet (tabel 12) og ikke tages højde for det (figur 17). Der er i denne statusrapport ikke lavet en op-



deling af, hvor meget stof der er fjernet i henholdsvis slamkegler og i biofiltre.

- Plantelagunerne
- til vandløbet, dvs. hvad der tilføres af stof til Kongeåen ved udløb fra dambruget

I tabel findes værdierne ved:

$$\text{Samlet nettostoffjernelse} = (PA_s - KV_s) + PL_s + VL_s, \text{ hvor} \quad (3)$$

$PA_s$  = stoffjernelse over produktionsanlægget brutto, dvs. uden kompensation for stoftab fra slambassiner med klaringsvandet

$KV_s$  = stoffjernelse med klaringsvandet fra slambassinerne

$PL_s$  = stoffjernelse over plantelagunerne

$VL_s$  = stoffjernelse fra dambruget til vandløbet via udløbet fra dambruget

Idet den samlede nettostoffjernelse sættes til 100 % beregnes de tre andre størrelser i ligning 3 som procent af den samlede nettostoffjernelse.

I figur 17 er ligning 3 ændret til:

$$\text{Samlet bruttostoftab} = PA_s + PL_s + VL_s \quad (4)$$

og det samlede bruttostoffjernelse er sat til 100 %. En del af det stof der fjernes i produktionsanlægget ved overførsel til slambassinerne tabes igen med klaringsvandet, og denne andel er vist som en negativ fjernelse i figur 17.

Nettostoffjernelsen over produktionsanlægget (dvs. den faktiske stoffjernelse, når der er kompenseret for stoftab fra slambassinerne med klaringsvandet) viser, at andelen af den samlede stoffjernelse over dambruget er godt 50 % hvad angår ammonium-N, total fosfor og organisk stof over produktionsanlægget som dermed er den vigtigste renseforanstaltning ift. disse stoffer. Til gengæld er den kun 7 % for total kvælstof (tabel 12). Her er det plantelagunerne, som fjerner meget total kvælstof, ca. 6 gange mere end netto i produktionsanlægget. Alligevel udledes der lige så meget total kvælstof, som der fjernes over dambruget. Ligeledes er andelen af ammonium-N, som tabes til vandløbet relativ stor; ca. 1/3 af samlede stoftab over dambruget. For total fosfor og organisk stof udgør stoffjernelsen i plantelagunerne mellem 1/4 og 1/3 af det samlede stoftab over dambruget og dermed på ca. det halve af nettostoffjernelsen i produktionsanlægget. Fjernelsen af ammonium-N i plantelagunerne antages at være påvirket af vandtab ved nedsivning fra plantelagunerne. Med dette vandtab kan også følge andre opløste stoffer som f. eks. opløst fosfor.

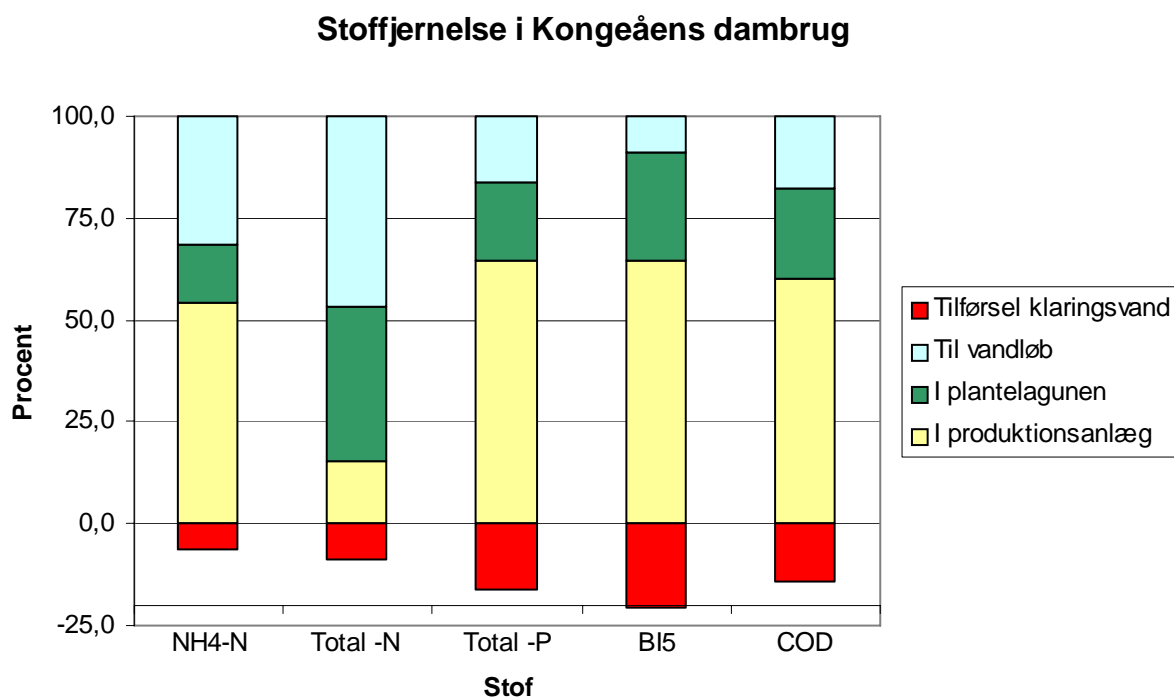
Udledningerne af total fosfor og organisk stof udgør kun mellem 10 og 20 % af den samlede stoffjernelse over dambruget.

Samlet viser tabel 12, at det er i forhold til kvælstof, der fortsat er potentiale for øget stoffjernelse dambruget/yderligere renseforanstaltninger.

	NH <sub>4</sub> -N (%)	TN (%)	TP (%)	BI <sub>5</sub> (%)	COD (%)
<b>Produktionsanlæg – klaringsvand (PA<sub>s</sub> – KV<sub>s</sub>)</b>	51,2	7,0	57,6	55,5	53,3
<b>I plantelagune (PL<sub>s</sub>)</b>	15,2	41,8	23,0	33,1	26,3
<b>Til vandløb (VL<sub>s</sub>)</b>	33,6	51,2	19,4	11,4	20,4

**Tabel 12** Sammenligning af stoffjernelse over produktionsanlægget - netto (dvs. hvor der er taget højde for det stof, der løber med klaringsvandet til plantelagunerne), plantelagunerne og stoftilførsel til vandløb. Tal fra tabel 10 og 11.

Tabet med klaringsvandet er ret betydelig, ikke mindst hvad angår total fosfor og BI<sub>5</sub>, hvor det for sidstnævnte udgør næsten 21 % af den samlede stoffjernelse over dambruget (figur 17). Det forekommer ikke hensigtsmæssigt, at så stor en andel af stof, som allerede er blevet fjernet i slamkegler og biofiltre og ført over i slambassiner, umiddelbart herefter mobiliseres og ledes tilbage til plantelagunerne. Omkring halvdelen af det totale kvælstof, der føres over i slambassinerne ledes tilbage til plantelagunerne med slamvandet, for BI<sub>5</sub> er det en tredjedel og for fosfor en fjerdedel, selv om Kongeåens Dambrug på et tidligt tidspunkt valgte at tilsætte aluminium for at fælde opløst fosfor i slambassinerne. Figur 17 viser det store potentiale, der er for stoffjernelse i produktionsanlægget hvis tabet via klaringsvandet kunne reduceres. Man skal dog være opmærksom på, at en del af stoftabet med klaringsvandet fjernes efterfølgende i plantelagunerne, dvs. den absolutte stoffjernelse i disse kan blive reduceret ved en lavere belastning.



**Figur 17** Stoffjernelse i Kongeåens Dambrug i det første måleår. Summen af stof, fjernet i produktionsanlægget og over plantelagunerne samt tilført vandløbet er sat til 100 %. Stoffjernelsen i produktionsanlægget er vist som brutto tilført slambassinerne, men da der bliver tilbageført stof med klaringsvandet til plantelagunerne er dette bidrag vist som en negativ stoffjernelse, dvs. nettofjernelsen (%) er forskellen mellem den gule og en røde søjle. Baseret på tabel 10 og 11.

## 10 Vandløbsfauna

### 10.1 Fysiske forhold i Kongeå

Der er gennemført indsamling af faunaprøver henholdsvis op- og nedstrøms Kongeåens Dambrug i Kongeåen.

Strækningen, hvor opstrøms prøven udtages, er lysåben og omgivet af en smal bræmme eng og braklagte arealer. Dele af ådalen er intensivt opdyrket. Vandløbet er 8-10 meter bredt, med en middeldybde på 0,7-0,8 meter. Strømmen er god. Der er enkelte områder med dybder over 1 meter. Vandløbsbunden er helt domineret af sand, men med enkelte områder med grus (< 10 %). Der er i sommerperioden en samlet dækning af grøde på op til 70 % domineret af vandranunkel. Det fysiske indeks er på lokaliteten 26 (Pedersen & Baattrup-Pedersen, 2005) .

Nedstrømsprøven udtages på stryget ca. 300 meter nedstrøms Kongeåens Dambrug. Vandløbet er ca. 10-12 meter bredt med en middeldybde på 0,6-0,7 meter. Strømmen er god til frisk. Bundforholdene er domineret af sand, men der er indslag af både grus og sten. Grøden er domineret af vandranunkel, og har i sommerperioden en dækning på ca. 80%. Det fysiske indeks er på 23.

### 10.2 Smådyrfauna

I alt 67 forskellige taxa (arter) er registreret i Kongeåen op- og nedstrøms for dambruget ved de tre prøvetagninger udført af DMU i december 2004, september 2005 og juni 2006. De artsrigeste grupper har været vårfluer, døgnfluer og biller med henholdsvis 16, 10 og 8 registrerede arter. Smådyrfaunaen har antalsmæssigt været domineret af ferskvandstangloppen *Gammarus*, døgnfluer af slægten *Baetis* og kvægmyg ved alle tre prøvetagninger både op- og nedstrøms for dambruget. I juni 2006 udgjorde disse tre taxa tilsammen således henholdsvis 88 % og 73 % af den samlede fauna på stationerne op- og nedstrøms for dambruget. Flere andre taxa har ved en enkelt prøvetagning været talrige bl.a. de to døgnfluer *Caenis rivulorum* og *Serratella ignita* samt vårfluen *Brachycentrus subnubilus*. Der er registreret visse rentvandskrævende arter i Kongeå, bl.a. døgnfluerne *Heptagenia* spp. (2 arter), *Paraleptophlebia submarginata* og *Ephemera danica*, slørvingerne *Taeniopteryx nebulosa* og *Isoperla* sp. samt vårfluerne *Silo* sp. og *Rhyacophila nubila*. Generelt forekommer de rentvandskrævende arter i forholdsvis lave indvidtal såvel op- som nedstrøms for Kongeåens dambrug.

Faunamæssigt adskiller prøven nedstrøms for Kongeåens dambrug i december 2004 sig markant fra de øvrige prøver. Følgende faunagrupper forekom alle med 500-1000 individer i sparkeprøven: bønnemuslingen *Sphaerium*, børsteorme Oligochaeta, iglen *Erpobdella octoculata*, vandbænkbedderen *Asellus aquaticus* og dansemyg Chironomidae. Disse 5 fauna-grupper kan alle optræde talrigt i forbindelse med udledning af store

mængder letomsætteligt organisk stof. Ved denne prøvetagning var der endvidere stor forskel mellem vandløbsbundens farve og lugt henholdsvis op- og nedstrøms for dambruget. På lokaliteten opstrøms for dambruget var sandbunden lys og uden lugt, hvilket indikerer gode iltforhold ned gennem sedimentet. I modsætning hertil var sandbunden på lokaliteten nedstrøms for dambruget sort bortset fra de øverste få millimeter, og der var lugt af svovlbrinte. Dette indikerer iltfri forhold ned gennem sedimentet. De to rentvandskrævende døgnfluer *Heptagenia* sp. og *Paraleptophlebia submarginata* forekom både op- og nedstrøms for dambruget, men var betydeligt mere talrige på lokaliteten opstrøms for dambruget. Sammenholdes de faunamæssige oplysninger med observationerne af vandløbsbunden, tyder dette på forurening fra dambruget i efteråret 2004. Ved de efterfølgende prøvetagninger har der ikke været denne forskel mellem lokaliteterne op- og nedstrøms for Kongeåens dambrug.

Tilstanden udtrykt som Dansk Vandløbsfaunaindeks (DVFI) (*Miljøstyrelsen, 1998 og Skriver et al, 1999*) har gennem hele perioden december 2004 til juni 2006 været DVFI 5, 6 eller 7 på stationerne opstrøms og nedstrøms for dambruget (tabel 13). Værdierne har svinget lidt, men uden nogen klar tendens til forskel mellem stationerne opstrøms og nedstrøms dambruget. Vurderet alene ud fra DVFI er der således målopfyldelse på begge stationer igennem hele perioden. Som omtalt ovenfor viser en nærmere gennemgang af faunalisterne imidlertid, at der i efteråret 2004, før ombygning til et modeldambrug, har været en påvirkning fra dambruget som har influeret på faunaens generelle sammensætning.

	DMU/amt	Kongeå, opstrøms	Kongeå, nedstrøms
Marts 2004	Ribe Amt	5	5
December 2004	DMU	6	5
Marts 2005	Ribe Amt	6	6
September 2005	Ribe Amt	7	7
September 2005	DMU	6	5
Februar 2006	Ribe Amt	6	7
Juni 2006	DMU	5	6

**Tabel 13** Tilstanden i Kongeå op- og nedstrøms Kongeåens Dambrug udtrykt som Dansk Vandløbsfaunaindek. Målinger foretaget af henholdsvis Ribe Amt og DMU.

## 11 Planter i plantelagunerne

På baggrund af en foreløbig opmåling er plantelagunerne, de tidligere jordproduktionsdamme og føde-/bagkanaler blevet karakteriseret, jvf tabel 14.

---

### Kongeåens Dambrug

---

Antal grødefyldte plantelaguner/kanaler	53 bassiner + 905 m kanaler
Samlet areal	14.800 m <sup>2</sup>
Gennemsnitsdybde	0,9 m
Samlet volumen	13.400 m <sup>3</sup>
Gennemstrømning (indløb)	100,9 l/s
Beregnet opholdstid (middel)	36,9 timer

---

**Tabel 14** Karakteristisk af plantelagunerne ved Kongeåens Dambrug

Der er i de grødefyldte bassiner samt kanaler registreret 21 plantearter i perioden september 2005 til juli 2006. Det er imidlertid kun Sødgræs og Liden andemad, som kvantitativt har betydning i dammene som helhed. Sødgræs havde ved prøvetagningen i september 2005 en dækning på ca. 13 %, som blev bibeholdt og startede på nogenlunde dette niveau det følgende forår. I juli 2006 var dækningen af Sødgræs ca. 40 %. Liden Andemad udviser en større variation i dækningen, idet arten i september 2005 udgjorde 35 % dækning. Det følgende forår var dækningen kun 4 %, men denne er herefter øget, og udgjorde på ny ca. 35 % i juli 2006.

Trådalger har samlet set kun udgjort 1-2 % af dækningen, men denne var øget til ca. 8 % i juli 2006. Ingen af de øvrige arter udgjorde på noget tidspunkt mere end 1-2 % af den samlede dækning. Det forventes, at planternes dækning i 2006 vil nå et maksimum ved prøvetagningen i september måned.

## 12 Diskussion

I dette kapitel er der en kort diskussion omkring nogle væsentlige problemstillinger omkring måleresultaterne for det første måleår ved Kongeåens Dambrug som supplerer den diskussion, der er i de enkelte kapitler i statusrapporten. Det er ikke hensigten i statusrapporten at gå i dybden omkring en række resultater, dette sker dels i den fælles årsrapport efter 1. og 2. måleår for de otte modeldambrug og endvidere i den faglige samlerapport, der skal afslutte måle- og dokumentationsprojektet for modeldambrug. Der foretages heller ikke sammenligninger med resultaterne fra de andre modeldambrug under forsøgsordningen.

Da der er tale om resultater fra et måleår ud af to bør der ikke drages for bastante konklusioner. Nogle resultater har et tilstrækkeligt sikkert grundlag til at der kan laves konklusioner, andre er af mere foreløbig karakter. Endvidere må det forventes at der i andet måleår sker en stabilisering omkring driftsforhold, biofiltrenes funktion og plantedækningen i plantelagunerne.

### Vandforbrug, -flow og opholdstid

Der er i gennemsnit i det første måleår indtaget 107 l/s eller over 20 % mindre end indvindingstilladelsen. Det interne flow har som gennemsnit for de tre produktionsenheder været ca. 805 l/s eller i alt knap 2500 l/s og recirkuleringsgraden har været 95,7 %. For et modeldambrug type III er forudsat en recirkuleringsgrad på mindst 95 %. Vandforbruget er med ca. 3.100 l vand pr. kg produceret fisk mindst en faktor 10 lavere end i traditionelle gennemstrømningsanlæg.

Der er et vandtab over produktionsenhed 1 på ca. 30 % som formodes at ske i belufterbrøndene eftersom denne enhed ikke er fuldstøbt. Det formodes at dette vandtab primært genindvindes i de boreriger/dræn der leverer indtagsvandet, men da tabet udgør mindre end 10 % af det vand der indtages og dette kan indtages fra et større grundvandsmagasin, hvori der også vil være en stofomsætning/stoftilbageholdelse vil det være vanskelig at se en evt. udvikling i koncentrationen for de opløste stoffer i indtagsvandet især indenfor en så relativ kort måleperiode som et år.

Plantelagunerne tilføres i gennemsnit 107 l/s men der måles kun 73 l/s i udløbet fra disse til vandløbet. Da vandmængderne er bestemt med højst 5 % usikkerhed og der ikke er konstateret utætheder/synlige vandtab/horisontalt flow fra plantelagunerne til vandløbet, må hovedparten af vandtabet ske gennem bunden af plantelagunerne. Ådalen består af sand og grus og med et grundvandsspejl, der især i sommerhalvåret ligger under bunden af plantelagunerne. Vandtabet er således også størst om sommeren.

Det kan ikke uden nærmere, målrettede undersøgelser afklares hvor det vand der forventes at nedsive fra plantelagunerne og produktionsenhed 1 ender. Det kræver tilsvarende specialundersøgelser at undersøge hvilke koncentrationer, der er i nedsivningsvandet. Disse undersøgelser lig-

ger udenfor projektets formål og rammer. Noget at dette vandtab indvindes i de borerer som ligger omkring plantelagunerne og bliver til indtagsvand. Resten siver ned til grundvandet og/eller ud mod Kongeåen nedstrøms Kongeåens Dambrug.

Den hydrauliske belastning af plantelagunerne på 0,007 l pr. m<sup>2</sup> plantelagune er ca. 1/3 af den maksimalt tilladte belastning (*Bekendtgørelse om modeldambrug, 2002*). Det vurderes ikke at være et problem ift. til hovedparten af de omsætningsprocesser, der er i plantelagunerne og det vil kunne øge sedimentation af partikler. Da de enkelte damme er gravet sammen således at plantelagunerne er tre parallelt løbende vandløbssystemer er der sikret et vist flow igennem disse. Såfremt plantevæksten er beskeden vil langsomtstående vand øge risikoen for en opblomstring af trådalger i foråret, men dette har ikke været et problem på Kongeåens Dambrug.

Opholdstiden i det samlede produktionsanlæg har i gennemsnit været 24 timer og for hele dambruget 59 timer. *Bekendtgørelsen for modeldambrug (2002)* forudsætter en opholdstid på mindst 18,5 timer i produktionsanlægget. Med en opholdstid på over 2 døgn vil man umiddelbart forvente at hovedparten af let omsætteligt organisk stof (BI<sub>5</sub>) når at blive omsat (*Fjorback et al., 2003*).

### **Foder og produktionsbidrag**

I det første måleår fra ultimo april 2006 til ultimo maj 2006 har Kongeåens Dambrug med anvendelse af godt 902 tons foder fuldt ud anvendt den årlige fodertildeling under forsøgsprojektet. Der er med en produktion på 1079 tons opnået en meget pæn foderkvotient på 0,837. Dambruget havde været i drift med en større bestand af fisk i nogle måneder inden måleprogrammet officielt startede og har fra måleperiodens start produceret under hvad der ligner sædvanlige driftsforhold.

Produktionsbidraget baseret på foderanalyser af alle batches og fordøjelighedsforsøg er for ammonium-N, total kvælstof, total fosfor, BI<sub>5</sub> og COD på niveau med eller lidt over de teoretiske værdier, men denne afhænger også af foderspildet, som er sat til 1 % uden det har været målt.

Produktionsbidraget er som ventet hovedkilden for stoftilførsel til dambruget, idet stoftilførsel med indtagsvandet udgør fra under 5 % for BI<sub>5</sub>, 10-15 % for ammonium-N, total fosfor og COD og op til 20 % for total kvælstof af den samlede stoftilførsel til Kongeåens Dambrug.

### **Stofkoncentrationer**

I de første to-tre måneder af 1. måleår er der ret varierende koncentrationer af de kemiske variable i afløbet fra de tre produktionsenheder for f.eks. suspenderet stof, ammonium kvælstof, total fosfor og organisk stof. Dette antages at afspejle indkøring af driftsrutinerne ift. f.eks. tømning af slamkegler og returskylning af biofiltre, hvorved vandforbruget hertil gradvist reduceres. Det afspejler samtidigt at biofiltrenes evne til at omsætte ammoniak og BI<sub>5</sub> gradvist udvikles i takt med at der opbygges en bakteriekultur i disse.

Koncentrationen i afløbet fra dambruget stabiliseres ligeledes i løbet af de første måneder, både fordi belastningen af plantelagunerne stabiliseres og fordi der gradvist etableres en større biomasse i disse.

Ammonium-N koncentrationen nedstrøms biofiltrene i de tre produktionsenheder har varieret meget gennem det første måleår. I sommerhalvåret er niveau højt, mellem 4 og 10 mg N/l, mens det i vinterhalvåret med lavere udfordring ligger på 1-4 mg N/l. Med så høje ammonium-N koncentrationer bliver det vigtigt at styre pH for ikke at få kritiske forhold for fiskene. Det tyder samtidigt på, at der ikke har været den ønskede omsætning af ammoniak til nitrat. Eftersom biofiltrene i foråret 2006 har været i drift i over et år må det forventes at ammoniakomsætningen i disse ikke øges uden ændret drift. I løbet af den efterfølgende sommer (dvs. i 2006) er der forsøgt konstant beluftning af biofiltrene hvilket tilsyneladende har reduceret ammonium-N koncentrationerne i produktionsenhederne. Det er dog for tidligt at vurdere om dette har en varig effekt.

### **Udlederkrav**

I det første måleår har udlederkravene været overholdt ift. suspenderet stof, fosfor og organisk stof som de er fastlagt i miljøgodkendelsen, hvor Ribe Amt forlanger der skal udføres en tilstandskontrol på alle parametre efter DS2399. De er også opfyldt, såfremt der udføres sædvanlig udlederkontrol som angivet i Bekendtgørelse om modeldambrug og gives fuld kompensation på udlederkravene ift. reduktionen i vandforbruget sammenlignet med tidligere drift (reduktion med ca. en faktor 14). Udlederkontrol på dambrug, hvor der laves kontrol på en forskel i koncentration mellem udløbs- og indtagsvandet til dambruget, er ikke fagligt muligt efter DS2399 og er derfor alene foretaget på udledningerne.

Udlederkravene overholdes ikke for ammonium-N uanset den anvendte kontrolmetode, og overholdes heller ikke for total kvælstof med ved kontrol efter DS2399 som foreskrevet i miljøgodkendelsen. Det vejledende udlederkrav er imidlertid lavt fastsat for ammoniak i miljøgodkendelsen (en koncentrationsforøgelse på 1 mg N/l mod godt 5 mg N/l, hvis der var givet fuld kompensation for det reducerede vandforbrug), mens der for total kvælstof fuldt ud er kompenseret for det reducerede vandindtag ift. dambrugets tidligere vandindtag. Kvælstof er den kritiske parameter ift. modeldambrugene under forsøgsordningen fordi der ved fodertildelingen er set bort fra kvælstof som begrænsende stof for fodertildelingen under forsøgsordningen (*Bekendtgørelse om modeldambrug (2002) og Pedersen et al. (2003)*). Det betyder at der er vigtigt at sikre en tilstrækkelig fjernelse af kvælstof for at bevare den tildelte foderkvote under forsøgsordningen eller for den sags skyld at kunne få den forøget.

Det omtalte vandtab over plantelagunerne har ikke umiddelbart nogen betydning for overholdelse af udlederkontrollen, da den skal foretages som en tilstandskontrol, dvs. på koncentrationer,

### **Stoftabet pr kg. produceret fisk**

Det målte netto stoftab pr. kg. fisk har for ammonium-N (6,2 g) og total kvælstof (10,9 g) været på niveau med eller lidt højere end hvad der blev



bestemt for Døstrup Dambrug (*Fjorback et al., 2003*), hvilket understreger problemstillingen omkring af få fjernet kvælstof over dambruget. Til gengæld er stoftabet af total fosfor (0,28 g) og BI<sub>5</sub> (4,3 g) væsentlig lavere end der blev fundet ved Døstrup Dambrug. Når tallene sammenlignes skal det tages højde for at Døstrup Dambrug havde et betydeligt stofbidrag med indtagstvandet, således at stoftabet betinget af fiskeproduktionen var svær at bestemme entydigt.

Ifølge Miljøstyrelsens opgørelse for ferskvandsdambrug udledtes der i 2003 3.098 t BI<sub>5</sub>, 1.119 t total-N og 90 t total-P ved en produktion på 29.434 t ørreder. Heraf kan beregnes nogle gennemsnitlige specifikke udledninger til sammenligning med hvad der er fundet på Kongeåens Dambrug (tabel 15).

	Specifik udledning – netto (kg/t fisk produceret)		Kongeåen i % af /gennemsnit DK
	Gennemsnit Dan- mark	Kongeåens dambrug - 1. måleår	
Organisk stof	105,3	4,3	4 %
Total-N	38,0	10,9	29 %
Total-P	3,1	0,3	10 %

Tabel 15 Specifikke udledninger netto som gennemsnit for ferskvandsdambrug i Danmark (i 2003) og for Kongeåens Dambrug det første måleår: I sidste kolonne er de specifikke tab ved Kongeåens Dambrug angivet i procent af gennemsnittet for ferskvandsdambrug i Danmark.

Kongeåens Dambrug har haft markant reducerede specifikke udledninger, især for organisk stof og fosfor sammenlignet med gennemsnittet af ferskvandsdambrug også selv om tabet muligvis kan være reduceret ved tab med nedsivningsvandet.

### Stoffjernelse, rensegrader og vandtab

Der er ret stor forskel på, hvor stor en del af de forskellige stoffer der tilføres dambruget som bliver fjernet i produktionsanlæggets renseforanstaltninger (især slamkegler og biofiltre) og i plantelagunerne og dermed ikke tilføres Kongeåen via udløb. Målingerne fra det første måleår viser at for ammonium-N når ca. 1/3 af tilførslerne i dambruget ud i vandløbet, mens det for total kvælstof er over 50 % af tilførslen. Til gengæld udledes kun ca. 20 % af total fosfor- og COD-tilførsel og kun godt 10 % af BI<sub>5</sub>-tilførslen til Kongeåen. Den fosfor som udledes er primært på opløst og dermed biotilgængelig form. En andel af tilførslen til Kongeåen er fra det indtagne vand, som ellers ville være nået frem til vandløbet længere nedstrøms.

Det skal i denne forbindelse understreges, at Kongeåens Dambrugs udledninger af opløste stoffer som ammonium-N, nitrat og opløst fosfor i et eller andet omfang begrænses af, at der i gennemsnit tabes ca. 32 % af det indtagne vand primært gennem bunden af plantelagunerne. Det kan som tidligere omtalt ikke uden specialundersøgelser fastslås, hvor det nedsivende vand ender. Da der er borer med vandindvinding omkring bl.a. plantelagunerne vil noget genindvindes som indtagstvandt, men hvor meget kan vi ikke sige. Noget nedsivningsvand kan potentielt nå til grundvandet hvoraf noget genindvindes og andet kan strømme

mod Kongeåen nedstrøms Kongeåens Dambrug. Endelig kan noget nedsivningsvand via den umættede zone sive ud mod Kongeåen.

Nogle af de stoffer der følger med nedsivningsvandet kan omsættes delvist eller helt i jorden som f.eks. nitrat, mens opløst fosfor i et vist omfang kan bindes til partikler i jorden. Der vil især være stoffer på opløst form i det nedsivende vand, dvs. ammonium-N, nitrat og opløst fosfor samt noget opløst organisk stof, da kun helt små partikler kan sive igennem bunden af plantelagunerne. Det er ikke fagligt muligt uden nærmere undersøgelser at tage en eller anden koncentration af disse stoffer og gange på den nedsivende vandmængde. Samlet kan det derfor ikke vurderes, hvor meget af den stofmængde som er i nedsivningsvandet, der reelt når frem til Kongeåen eller grundvandet. Det betyder, at en andel af det opløste stof, som er målt fjernet over plantelagunerne på et tidspunkt potentielt kan nå enten til grundvandet eller Kongeåen længere nedstrøms Kongeåens Dambrug, men hvor meget kan ikke vurderes uden en nøjere undersøgelse af ådalens grundvands-, strømnings og jordkemiske forhold. Problemstillingen vurderes umiddelbart kun at være relevant ift. kvælstof (ammoniak og nitrat) og det er givet, at en del af de nedsivende vand og tilhørende stoffer genindvindes med indtagsvandet til dambruget.

Vandet til dambruget indtages fra flere borer og ådalen som består af sand- og grusaflejringer, dvs. sandsynligvis fra et større magasin. Det betyder, at der ikke umiddelbart kan forventes målt nogen væsentlig stigning i koncentrationen af opløste stoffer i indtagsvandet, selv om der kunne føres f.eks. ammonium eller nitrat ned med nedsivningsvandet. Herudover vil en del af de kvælstof og fosfor der kan følge med nedsivningsvandet omsætte/tilbageholdes i ådalen.

Det ligger udenfor projektets formål og rammer at kvantificere de forskellige transportveje for og omsætning af stof i nedsivningsvandet, men det vil fagligt være muligt at klarlægge ved nogle kortlægninger, sporstofsforsøg, målinger og beregninger.

Det vil ikke være fagligt forsvarligt at opdele de målte rensesgrader over produktionsanlæg og plantelaguner i en andel fjernelse (rensning) og en andel nedsivning.

De opnåede nettorensesgrader (dvs. stoffjernelsen relateret til produktionsbidraget) har været på over 90 % for både total fosfor og  $BI_5$  og dermed langt over forudsætningerne for modeldambrugene (*Bekendtgørelse for modeldambrug, 2002*) på henholdsvis 60 og 75 % for et modeldambrug af type III uden mikrosigter. For total kvælstof har nettorensesgraden med 63 % også være væsentligt over forudsætningerne i bekendtgørelsen, da den med de 14.800 m<sup>2</sup> er forudsat til mindst 27 %.

Godt halvdelen af det ammonium-N, total fosfor og organiske stof der tilføres dambruget via indtagsvandet og via produktionsbidraget fjernes over produktionsanlægget, når der er taget højde for det stof, der afledes med klaringsvandet, mod kun 7 % af kvælstoffet. Her fjerner plantelagunerne til gengæld knap 42 % af det tilførte kvælstof til dambruget, mens det fjerner mellem 15 og 33 % af de øvrige tilførte stoffer. Af den samlede tilførte stofmængde til dambruget udledes over halvdelen af total kvælstof og 1/3 af ammonium-N. For total fosfor og COD udledes

kun 20 % og for  $BI_5$  beskedne godt 11 %. En del af det stof der udledes ville nå vandløbet alligevel, da det er stof fra indtagsvandet, dvs. dræn og grundvand, til dambruget.

Generelt fjerner renseforanstaltningerne meget fosfor og organisk stof, men det er vigtigt at sikre at udledninger af klaringsvand fra slambassinerne med høje stoffkoncentrationer reduceres. Således ledes 33 % af det  $BI_5$  og 25 % af det total fosfor som eller var ført over i slambasinnerne fra slamkegletømning og returskyldning af biofiltrene umiddelbart videre over i plantelagunerne med klaringsvandet. For kvælstof er det enddog over 50 %. Det er uhensigtsmæssigt at stof, der reelt er fjernet og opsamlet i slambasinnerne i så store mængder ledes til lagunerne, som f.eks. ikke kan omsætte det ammoniak eller alt det opløste fosfor, der tilføres. Det har derfor været hensigtsmæssigt, at det er lykkedes at tilbageholde opløst fosfor i slambedene ved fældning, da dette givet har reduceret udledninger af opløst fosfor fra dambruget betydeligt.

Der bør ses på muligheden af især at få fjernet en del af det ammoniak der udledes fra slambedene med klaringsvandet og fra de tre produktionsanlæg, sættefiskanlæg og leveredamme før det ledes til plantelagunesystemet gennem ekstra renseforanstaltning som f.eks. et ekstra biofilter hertil. Det ville alt andet lige også være hensigtsmæssigt såfremt slamvand fra slamkegler og returskyldning af biofilter kunne blive i slambasinnerne en del timer inden der blev åbnet for tilledning af klaringsvand til plantelagunerne. Dette vil reducere tabet med klaringsvandet. Det skal i den forbindelse understreges at dambruget virker veldrevet og med stabile driftsforhold.

Plantelagunerne har fuldt opfyldt forventninger og forudsætningerne til stoffjernelse, selv om der sammenlignet med Døstrup Dambrug er flere opstrøms renseforanstaltninger som biofiltrene. Det har været en fordel at der har været nogen planter i en del af plantelagunerne fra produktionsstart og at der været en yderligere tilvækst af planter i sommerhalvåret og hen på efteråret 2005. Det er også en fordel at klaringsvandet fra slambasinnerne udledes opstrøms i plantelagunerne.

Det er især fjernelsen af kvælstof, herunder af ammonium-N i de tre produktionsanlæg, der ikke er tilstrækkelig. Den største og afgørende udfordring er derfor at få øget kvælstoffjernelsen over dambruget af ammoniak ift. at kunne bevare eller evt. øge foderforbruget.

### **Vandløbsfauna**

Målsætningen i Kongeåen har været opfyldt i hele første måleår op- og nedstrøms Kongeåens Dambrug med DVFI svingende mellem 5 og 7. Der er ingen klar tendens om der er forskel på DVFI op- og nedstrøms. Ved prøvetagning i efteråret 2004 før modeldambruget var opstarten viser en nærmere analyse af faunalisterne, at der nedstrøms har været en væsentlig påvirkning af faunaens generelle sammensætning fra dambruget som tyder på væsentlig forurening fra dambruget. Denne påvirkning er ikke konstateret efter ibrugtagning af modeldambruget.

## 13 Litteraturliste

*Bekendtgørelse om modeldambrug (2002).* Bekendtgørelse om modeldambrug. 10 s. - BEK nr. 923 af 08/11/2002 pp.

*Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om modeldambrug (2004).* Bekendt om ændring af bekendtgørelse om modeldambrug. 2 s. - BEK nr. 328 af 15/03/2004.

*Dambrugsudvalget (2002).* Dambrugsudvalget. Udvalget vedr. dambrugs-erhvervets udviklingsmuligheder. 78 s. Rapport. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.

*Dansk Standard (1999).* DS 2399 Afløbskontrol. Statistisk kontrolberegning af afløbsdata.

*Fjorback, C., Larsen, S.E., Skriver, J., Svendsen, L.M., Nielsen, P. & Riis-Vestergaard, J. (2003)* Forsøgsprojekt Døstrup Dambrug. Resultater og konklusioner. Danmarks Miljøundersøgelser. 272 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 260.

*Larsen, S.E. & Svendsen, L.M. (1998).* Afløbskontrol af dambrug. Statistiske aspekter og opstilling af kontrolprogrammer. Danmarks Miljøundersøgelser. 86 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 260.

*Larsen, S.E. & Svendsen, L.M. (1998).* Notat vedr. tilpasning af udlederkontrol ved overgang fra tilstandskontrol til transportkontrol. Notat fra Danmarks Miljøundersøgelser.

*Miljøstyrelsen (1998).* Biologisk vandløbsbedømmelse af vandløbskvalitet. Miljø- og Energiministeriet. 39 s. - Vejledning nr. 5/1998.

*Pedersen, M. L. & Baattrup-Pedersen, A. (red) (2005).* Økologisk overvågning i vandløb og på vandløbsnære arealer under NOVANA 2004-09. 3. udgave. Danmarks Miljøundersøgelser. 140 s. - Teknisk anvisning fra DMU nr. 21.

*Pedersen, P.B. Grønborg, O., & Svendsen, L.M. (red.) (2003).* Modeldambrug. Specifikationer og godkendelseskrav. Rapport fra faglig arbejdsgruppe. 82 s. - Arbejdsrapport fra DMU, nr. 183

*Ribe Amt (2004).* Mijøgodkendelse af Kongeåens Dambrug, 30s.

*Skriver, J., Riis, T., Carl, J., Friberg, N., Ernst, M.E., Frandsen, S.B., Sode, A. & Wiberg-Larsen, P. (1999).* Biologisk overvågning i vandløb 1998-2003. Biologisk vandløbskvalitet (DVFI). Udvidet biologisk program. NOVANA2003. Danmarks Miljøundersøgelser. 41 s. - Teknisk anvisning fra DMU nr. 16.

*Svendsen, L.M. & Pedersen, P.B. (reds.) (2004).* En undersøgelse af muligheder for etablering af måleprogram på såkaldte modeldambrug. 118 s. - DFU-rapport nr. 132-04, 118 p.